Wilh. Ostwald
Die Farbenlehre

Bd. IV

Physiologische Farbenlehre

Verlag Unesma G.m.b.H.
Leipzig

116
12

$2.65

THE UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY
535.6
Os7f
v.4
REMOTE STORAGE
PSYCHOLOGY
DEPARTMENT

Return this book on or before the **Latest Date** stamped below. A charge is made on all overdue books.
University of Illinois Library

AUG 12 1948
8/16/48

DUE: 9/10/80

10/6/80

JUN 2 1982

MAY 7 1984

MAY 11 1995

RETURN TO
REMOTE STORAGE

M32

Die Farbenlehre

Von

Wilhelm Ostwald
u. a.

In fünf Büchern

Viertes Buch

Physiologische Farbenlehre

Leipzig
Verlag Unesma G. m. b. H.

Physiologische Farbenlehre

Von

Dr. H. Podestà

Marine-Generalarzt a. D. und Oberregierungs-Medizinalrat

Mit 1 Tafel und 29 Figuren im Text

Der Farbenlehre

Viertes Buch

Leipzig 1922

Verlag Unesma G. m. b. H.

GERMANY

Alle Rechte vom Verleger vorbehalten.
Copyright 1922 by Verlag Unesma G. m. b. H.,
Leipzig.

Druck von Hallberg & Büchting in Leipzig.

535.6
Os7f
v.4
REMOTE STORAGE

Vorwort des Herausgebers.

Von der auf fünf Bände angelegten „Farbenlehre“ erscheint hiermit der vierte, die physiologische Farbenlehre enthaltende Band. Er ist nicht von mir verfaßt, sondern von Herrn Dr. Podestà, Oberregierungs-Medizinalrat, der als einer der ältesten Mitarbeiter an der neuen Lehre und als selbständiger Forscher auf dem Gebiet der Augenheilkunde hierzu besonders berufen erschien.

Daß ich diesen Teil der Farbenlehre nicht selbst geschrieben habe, liegt daran, daß mir die hier zu behandelnden Dinge nicht aus eigener Betätigung geläufig sind. Ich hätte sie deshalb mir durch ein besonderes, zeitraubendes Studium aneignen müssen und hätte trotzdem nur eine Darstellung aus zweiter Hand zustande bringen können. Die täglich wachsenden Arbeiten, die mit der praktischen Verwertung der neuen Lehre in Schule und Gewerbe verbunden sind, würden mir ohnedies nicht die Möglichkeit gelassen haben, jenen Weg zu gehen. So betrachte ich es als eine glückliche Lösung der Schwierigkeit, daß Herr Dr. Podestà sich bereit fand, eine Darstellung der physiologischen Farbenlehre im Sinne der neuerdings erzielten Fortschritte zu übernehmen, die es ermöglicht, jene Lücke sachgemäß auszufüllen.

Es bedarf kaum des Hinweises, daß der Herr Verfasser, obwohl er sich rückhaltlos auf den Boden der neuen Lehre gestellt hat, sein Werk vollkommen selbständig geschrieben hat. So ist es gekommen, daß er in einigen Punkten, in denen ich persönlich eine radikalere Abwendung von den bisherigen Lehren vollziehen würde, den Anschluß an diese mehr in den Vordergrund hat treten lassen. Für den Leser ist dies eher ein Vorteil, da es ihm das Mitgehen auf den neuen Boden erleichtert. Ohnedies erfordert die Durchführung z. B. der Lehre vom Farbenhalb in allen Teilen der physiologischen Farbenlehre noch eine Fülle neuer Forschung, gehört somit noch nicht der Gegenwart an, sondern einer Zukunft, deren Zeit sich heute noch nicht bestimmen läßt.

Groß-Bothen, November 1921.

Wilhelm Ostwald.

500487

Vorwort des Verfassers.

Der Aufforderung des Herausgebers, die Bearbeitung der physiologischen Farbenlehre als des letzten der vorbereitenden Teile des Gesamtwerkes zu übernehmen, ist der Verfasser mit Freude nachgekommen, doch nicht ohne sich von gewissen Schwierigkeiten Rechenschaft gegeben zu haben, die der Lösung der Aufgabe nach verschiedenen Richtungen hin erwuchsen. Zunächst war es ein dringendes Gebot, auch für diesen Teil des vielseitigen Gebäudes einer alle Gebiete umfassenden Farbenlehre unter Aufrechterhaltung der für die Gesamtdarstellung notwendigen Einheitlichkeit einen möglichst engen Anschluß an die übrigen Teile des Werkes zu wahren. Alsdann ergab sich im Hinblick auf die in weitesten Kreisen des Volkes zu suchende Leserwelt die Forderung einer sich innerhalb gewisser Grenzen haltenden und tunlichst elementaren allgemein verständlichen Darstellung derjenigen Abschnitte, die auf teils nicht leicht faßbaren, teils noch nicht sicher erprobten sinnesphysiologischen Grundlagen aufgebaut sind. Die Innehaltung einer geschlossenen Einheitlichkeit war um so mehr geboten, als, wie schon ein oberflächlicher Blick auf das ganze Werk erkennen läßt, sein physiologischer Anteil im engsten Zusammenhang einerseits mit der physikalischen, andererseits mit der psychologischen Seite der Aufgabe steht. Stellt doch die physiologische Farbenlehre das natürliche Bindeglied und die Brücke her zwischen den physikalischen Vorgängen, auf welchen die Gesetze beruhen, denen die Lichtenergie unterliegt, bis sie ins Auge dringt, und den seelischen Vorgängen psychophysischer Art, die in unserem Bewußtsein zur Erkenntnis der Wirkungen des Lichtes, der Licht- und Farbenempfindung führen. Denn erst auf Grund der vorausgegangenen physiologischen Betrachtung, in deren Mittelpunkt das Auge mit seinen sich zum Gehirn fortsetzenden Nervenleitungen steht, sind wir imstande, den Inhalt des im geistigen Gebiete sich abspielenden Schlußteils des ganzen Vorgangs zu erkennen, der sich in dem empfindungsmäßigen Endergebnis der Licht- und Farbenwahrnehmung äußert.

So gut wir nun unterrichtet sind über die anatomischen Verhältnisse des Sehorgans im Großen und teilweise auch in ihren feineren Einzelheiten, über die Gesetze der optisch-physikalischen Bilderzeugung im Auge, so wenig aufgeklärt sind wir noch über die Natur der mannigfaltigen und verwickelten Vorgänge, durch welche die Lichtenergie innerhalb des nervösen Anteils des Auges in Nervenerregungen umgesetzt wird und nach Zurücklegung des weiten Weges über die Sehbahn im Zentralorgan des Gehirns erneute Erregungsprozesse hervorruft, mit denen sich schließlich die Bewußtseinsvorgänge der Licht- und Farbenempfindung verknüpfen. Der Grund hierfür beruht in der Tatsache, daß, während das Licht und der von ihm auf das Auge ausgeübte Reiz der direkten Messung unterworfen werden können und dadurch eine fortschreitende Erkenntnis ermöglichen, die

Auslösungsvorgänge der Lichtempfindung bisher nur der Beobachtung zugänglich geblieben sind. Merkwürdigerweise sind es hier aber keineswegs, wie man bei oberflächlicher Betrachtung vermuten würde, die Beobachtungen am normal farbenempfindenden Sehorgan, denen wir in der Hauptsache unsere allerdings noch recht lückenhaften Kenntnisse von der Natur und dem Zustandekommen des Farbensehens verdanken, sondern gerade die von der Regel abweichenden Farbenempfindungen, die Farbensinnstörungen, bieten uns die aussichtsvollste Gelegenheit, in die Erkenntnis der Vorgänge des normalen Farbensehens einzudringen. Diese auf den ersten Blick befremdlich erscheinende Tatsache hat ihren Hauptgrund in dem Umstand, daß die Abweichungen vom normalen Farbensinn keineswegs krankhafte und veränderliche Störungen, sondern vielmehr auf angeborener Grundlage beruhende Vereinfachungen des Farbensinnes darstellen, die mit einer großen Regelmäßigkeit und Beständigkeit vorkommen und keiner Änderung, weder im Sinne einer Besserung noch einer Verschlechterung fähig sind. Nicht zu Unrecht hat daher die aufklärende Beschreibung der einzelnen Formen der angeborenen Farbensinnstörungen, von der Farbensinnschwäche an über die Rotgrünblindheit bis zur ausgesprochenen Farbenblindheit einen besonders breiten Raum in der physiologischen Darstellung der Farbenlehre zu beanspruchen, ganz abgesehen von ihrer bisher viel zu sehr unterschätzten Häufigkeit und der großen ihnen zukommenden praktischen Bedeutung. Alle die verschiedenen Theorien, die unter Zugrundelegung der an den Farbenuntüchtigen gewonnenen Beobachtungen und Erfahrungen von den größten Geistern der Neuzeit mit kaum zu überbietendem Scharfsinn aufgestellt sind, um das Zustandekommen der farbigen Empfindungen zu erklären, haben nun zwar eine große Fülle von wichtigen Einzelergebnissen zutage gefördert und unser Wissen weitgehend bereichert, aber die tiefere Natur der Vorgänge, die sich beim Farbensehen abspielen, noch so gut wie völlig unaufgeklärt gelassen, und es ist kaum zu erwarten, daß der Schleier, der das Geheimnis der Farbenempfindungen und der ihnen zugrunde liegenden psychophysischen Prozesse im Gehirn verhüllt, in absehbarer Zeit gelüftet wird, solange wir noch nicht einmal über die Art der physiologischen durch die Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge ausgelösten Erregungsvorgänge in dem Empfangsorgan der Netzhaut genügend unterrichtet sind. Und doch kann jetzt schon mit Sicherheit vorausgesagt werden, daß wir im Begriffe sind, auf diesem Gebiet Fortschritte zu erzielen, welche uns der Lösung der strittigen Probleme um ein beträchtliches Stück näher zu bringen versprechen. Mit der Auffindung des Weges, der zum absoluten Maß der Farben führte, verdanken wir Wilhelm Ostwald die schon seit Jahrhunderten vergeblich erstrebte Ablösung der qualitativen durch die quantitative Periode der Farbenlehre. Mit der Beherrschung dieser bisher nur der Beobachtung zugänglichen Materie durch Maß und Zahl und der darauf sich gründenden Farbensystematik ist nunmehr eine feste Grundlage geschaffen, auf der nicht nur weite Gebiete der psychologischen Farbenlehre, wie z. B. die Lehre von der Farbenharmonie, einen Neuaufbau erfahren konnten, sondern auch für die physiologischen Probleme die Möglichkeit einer befriedigenden Lösung nahe gerückt ist.

Inhalt.

I. Teil.

Die Physiologie des normalen Farbensinns.

Erstes Kapitel.

Morphologie des Sehorgans.

Allgemeiner Bau des menschlichen Sehorgans 3. — Der Augapfel 3. — Der Nervenapparat 8. — Der Muskelapparat 11. — Die Ernährung des Auges 12. — Die Schutzorgane des Auges 13. — Der Sehnerv und die Sehgebiete des Gehirns 14.

Zweites Kapitel.

Die optischen Eigenschaften des Auges.

Das Auge als optisches System 19. — Die Einstellung des Auges für verschiedene Entfernungen 22. — Das Sehvermögen 27. — Kurz-und Übersichtigkeit 29. — Die Alterssichtigkeit 33. — Stabsichtigkeit 34. — Optische Unvollkommenheiten des Auges 35. — Der Helmholtzsche Augenspiegel 35.

Drittes Kapitel.

Die Energetik des Sehens.

Das Gesichtsfeld 38. — Die Wirkung des Lichtes im Auge 42. — Die Vorgänge im Gehirn 45. — Die Außenwelt 48. — Der Raum 50. — Der Lichtsinn 53. — Der Raumsinn und das körperliche Sehen 61. — Der Farbensinn 64.

Viertes Kapitel.

Sehorgane im Tierreich.

Die Lichtsinnorgane der niederen Lebewesen 65. — Die Augen der Wirbeltiere 67. — Das Sehen der Tiere 68. — Besondere Einwirkungen des Lichtes auf die Tiere 70. — Die Entwicklungsgeschichte des Auges. Die Beteiligung der Keimblätter 70.

Fünftes Kapitel.

Lichtsinnorgane im Pflanzenreich.

Die Einwirkungen des Lichtes auf die Pflanzen 73. — Die Lichtbewegungen der Pflanzen. 73. — Der Lichtbedarf der Pflanze 75. — Das Licht als Reiz 76. — Die Augen der Pflanzen 78. — Zusammenfassendes über die Entwicklung des Lichtsinns 81.

Sechstes Kapitel.

Der normale Farbensinn.

Die bunte Erscheinung des Sonnenlichtspektrums 83. — Die Helligkeitsverhältnisse des Spektrums 88. — Beziehungen zwischen den Farbtönen und der Helligkeitsverteilung des Spektrums 90. — Die Sättigung der bunten Spektrallichter 93. — Die Gesetze der spektralen Lichtmischungen 94. — Das normale trichromatische Farbensystem. Die optischen Gleichungen 97. — Der Helmholtzsche Farbenmischapparat 100. — Die Eichung des Spektrums 101. — Die Lichtmischungsgesetze. Das Farbendreieck 105.

Siebentes Kapitel.

Die Theorien über das Zustandekommen der bunten Empfindungen.

Die Komponenten des Farbensinnes 109. — Die Young-Helmholtzsche Farbensinntheorie 110. — Herings Theorie der Gegenfarben 114. — Schencks Entwicklungstheorie 115. — Die v. Kriessche Zonentheorie 117. — Fröhlichs Oszillationstheorie 117. — Natürliche Farben der Körper und Flächen 119. — Die Schluckungsspektra 121. — Die Emissionsspektra 123. — Der Einfluß der Beleuchtung. Bezogene und unbezogene Farben 125. — Die Farbstoffe — Die Pigmentfarben 128. — Bunte Nachbilder und Kontrasterscheinungen 131.

Achtes Kapitel.

Die Entwicklung des Farbensinns.

Geschichtliches 134. — Die Entwicklung des Farbensinnes beim Kinde 141. — Der Farbensinn der Naturvölker 142.

II. Teil.

Die angeborenen Störungen des Farbensinns.

Neuntes Kapitel.

Die Abweichungen vom normalen Farbensystem. Die Elemente des Farbensehens.

Farbentüchtigkeit und Farbenuntüchtigkeit 149. — Die Farbensinnanomalien als angeborener Zustand 151. — Die erworbenen Störungen des Farbensinns 151. — Abweichungen im Bereich des normalen Farbensehens 152. — Verschiedene Formen der Farbensinnstörungen 152. — Ausbildung des Farbensinnes im psychologischen Sinne des Wortes 153. — Eingeschränkte und abgeänderte Farbensysteme 158. — Die optischen Gleichungen der Farbenuntüchtigen 159. — Das achromatische und die dichromatischen Farbensysteme 160. — Die anomal trichromatischen Farbensysteme 161.

Zehntes Kapitel.

Die Häufigkeit, das Vorkommen und die Geschichte der Farbensinnstörungen.

Ungleiche Verteilung der Farbensinnstörungen auf die beiden Geschlechter 163. — Statistik der Farbensinnstörungen beim männlichen Geschlecht 164. — Verteilung

der Farbensinnstörungen auf die verschiedenen Bevölkerungsschichten 166. — Beziehungen zwischen Farbensinnstörungen und Rasse 167. — Farbensinnstörungen bei Naturvölkern 167. — Erblichkeit der Farbensinnstörungen 168. — Geschichtliches. Daltons Farbensinnstörung. Der Daltonismus 169. — Seebecks Forschungen 170. — Weitere Fortschritte seit Einführung der bunten Signale 170. — Holmgrens Untersuchungen 171. — Goethes und Schillers Anteil 172.

Elftes Kapitel.

Die totale Farbenblindheit (Achromasie, Monochromasie).

Benennungen und Begriffe 173. — Das Spektrum der total Farbenblinden 176.

Zwölftes Kapitel.

Die dichromatischen Farbensinnstörungen (Dichromasie, partielle Farbenblindheit, Grünrotverwechslung, Grünrotblindheit).

Benennungen auf Grund der Mischungsverhältnisse spektraler Lichter 179. — Die Formen des Zweifarbensehens 181. — Theoretische Rückschlüsse auf das Farbensehen der Dichromaten. Die Lichtmischungsgleichungen 183. — Das Spektrum des Dichromaten 185. — Das Farbensehen der Dichromaten 186. — Die Tritanopie. (Blaugelbblindheit, Blaugelbverwechslung, Blau- bzw. Veilblindheit)192.

Dreizehntes Kapitel.

Die anomalen trichromatischen Systemgruppen. Die Farbensinnschwäche.

Die Mittelstellung der anomalen Trichromasie auf Grund ihres Verhaltens den spektralen Mischungsgleichungen gegenüber 194. — Begriffsbestimmungen 195. — Einteilung der Anomalen auf Grund der spektralen Lichtmischungsverhältnisse 197. — Verhalten der Anomalen den Körperfarben gegenüber 199. — Die sogenannten „Sekundären Merkmale" der Anomalen 200. — Erhöhung der Farbenreizschwelle und Einfluß der Lichtstärke 201. — Einfluß der Größe der bunten Objekte und der Dauer ihrer Sichtbarkeit 203. — Einfluß des Farbenkontrastes 203. — Verhalten der Anomalen den Nachbildern gegenüber 206. — Das Farbensehen der Dichromaten und anomalen Trichromaten „auf großem Felde" 207. — Häufigkeit und Vorkommen der Farbensinnschwäche 208. — Einseitige Farbensinnschwäche 209.

Vierzehntes Kapitel.

Die praktische Bedeutung der Farbensinnstörungen.

Einleitendes 211. — Farbentüchtigkeit als Vorbedingung zur Eignung für den Eisenbahn- und Schiffahrtsdienst 212. — Abhängigkeit anderer Berufe vom Farbensinn 215. — Bewertung der einzelnen Formen der Farbensinnstörungen 217. — Erziehung und Übung des Farbensinns 218.

Fünfzehntes Kapitel.

Die Erkennung und Feststellung der Farbensinnstörungen.

Zweck und Leistungsfähigkeit der Untersuchungsmethoden 221. — Die Spektralapparate; Nagels Anomaloskop 223. — Die Pigmentproben 226. — Die Woll-

proben 227. — Die Tafelproben 228. — Herings Farbenmischapparat 233. — Die Nagel-Köllnersche Farbengleichungslampe 234. — Chromotestor nach Hegner und Löwe 235. — Ältere Prüfungsmittel 235. — Wert und Grenzen der Spektralproben 236. — Die Vornahme von Farbensinnprüfungen ist ärztliche Angelegenheit 237. — Simulation und Dissimulation von Farbensinnstörungen 238.

Anhang.

Sechzehntes Kapitel.

Die Gesundheitspflege des Auges.

Allgemeines über die Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit des Sehorgans 241. — Die Schädigungen des Auges durch Blendung 241. — Die Blendung durch Sonnenlicht 242. — Die Blendung durch das Licht des Blitzes 243. — Die Blendung durch elektrisches Licht 243. — Die Blendung durch Tageslicht 244. — Die Nachtblindheit und die Tagblindheit 245. — Der Schutz vor Blendungen durch dunkle Gläser 245. — Schädigungen des Auges durch mangelhafte Beleuchtung bei Nahearbeit. Die Entstehung der Kurzsichtigkeit in der Schulzeit 246. — Schädigende Einwirkung der künstlichen Beleuchtung 250. — Die künstlichen Lichtquellen 251. — Die Beleuchtung der Schulräume 254. — Die Brechungsfehler und ihre Verbesserung durch Brillengläser 255. — Der Wert des Brillentragens 257. — Die Verletzungen des Auges. Die Zufallsverletzungen 258. — Die Berufsverletzungen 258. — Die Augenschädigungen durch Genußgifte — Alkohol und Tabak 260. — Die Schädigungen der Augen durch andere Gifte 261. — Die Parasiten des Auges 263. — Äußere Augenkrankheiten 263. — Die katarrhalischen Entzündungen der Augenbindehäute 264. — Die Bindehauteiterung der Neugeborenen. Der Augentripper bei Kindern und Erwachsenen 264. — Die Ägyptische Augenentzündung (Körnerkrankheit, Trachom, Granulose) 265. — Die Augenerkrankungen in ihren Beziehungen zu Allgemeinleiden des Körpers 267. — Innere Augenleiden (grauer Star, grüner Star, schwarzer Star) 269. — Die Augenleiden in ihren Beziehungen zur Berufswahl 270. — Notwendigkeit einer sachgemäßen Behandlung der Augenleiden 271. — Warnung vor unsachgemäßer Hilfe bei Augenleiden 272. — „Schonung“ und „Überanstrengung“ gesunder Augen 272. — Schlußbetrachtung 274.

Korrekturen.

S. 71 Z. 15 v. o. statt Vorderhins lies: Vorderhirns
S. 85 Z. 1 v. u. vor zugeordneten ist einzufügen: der
S. 87 Z. 2 v. u. statt weit lies: weiter
S. 90 Z. 1 v. u.
S. 91 Z. 1 v. o. } statt Farbenton lies: Farbton
S. 93 Z. 10 v. o. zu streichen: so
S. 96 Z. 13 v. u. statt Es lies: Er
S. 98 Z. 9 v. u. statt er lies: es
S. 122 Z. 4 v. o. statt Fig. 28 lies: Fig. 29
S. 174 Z. 5 v. u. statt nich lies: nicht
S. 203 Z. 1 v. u. statt chrakteristisches lies: charakteristisches

I. Teil.

Die Physiologie des normalen Farbensinnes.

Erstes Kapitel.

Morphologie des Sehorgans.

Allgemeiner Bau des menschlichen Sehorgans. Um eine tiefere Einsicht in die Einwirkungen des Lichtes auf das menschliche Sehorgan zu vermitteln und das Verständnis für die Erscheinungen des Farbensehens- und Unterscheidens zu ermöglichen, ist es zunächst notwendig, etwas näher über den Bau des menschlichen Sehorgans zu unterrichten und einen Einblick in die grundlegenden Lehren von seinen Funktionen unter besonderer Berücksichtigung seiner optischen Eigenschaften getan zu haben.

Das menschliche Sehorgan setzt sich zusammen aus dem Augapfel, dem Sehnerven und dem Sehzentrum in der Gehirnrinde. Diese drei Bestandteile sind paarweise angeordnet und stehen in einer allerdings nur unvollständigen Verbindung miteinander. Die Lichtempfindlichkeit, d. i. die Fähigkeit, das Licht in eine andere Form von Energie zu verwandeln, ist gebunden an die Funktionen der nervösen Elemente des Sehorgans, an die Weiterleitung der vom Auge aufgenommenen Lichtreize zu dem nervösen Zentralorgan im Gehirn und ihre hier erfolgende Weiterverarbeitung zu Sinnesempfindung- und wahrnehmung. Alle anderen Bestandteile des Auges dienen zu optischen Zwecken, sowie zur Bewegung, zum Schutze und zur Ernährung des Organs.

Der Augapfel. Das Auge im engeren Sinne, der Augapfel, ruht, eingehüllt in eine weiche Fett- und Bindegewebskapsel, im vorderen Teile der knöchernen Augenhöhle, die in Form einer vierseitigen Pyramide mit nach hinten gerichteter Spitze ihn hinten und an den Seiten einschließt und gegen schädigende Einwirkungen von außen schützt (siehe Fig. 1 und 2). Er ist ein annähernd kugeliges Gebilde von prall elastischer Spannung. Seine äußere schützende Hülle wird

von einer weißen derben und festen, aus dichten, kreuz und quer verflochtenen Bindegewebsfasern bestehenden Haut, der Leder- oder Faserhaut (Sclera), gebildet, an die sich die sechs äußeren, den Augapfel bewegenden Augenmuskeln anheften, wie die Skelettmuskeln an die Knochen. Vorn, am vorderen Augenpol, weist die Lederhaut eine runde Öffnung auf, welcher uhrglasförmig die spiegelglatte und, ihrem optischen Zweck entsprechend, vollkommen durchsichtige, fast kreisrunde, etwa 1 mm dicke Hornhaut (Cornea) derart aufsitzt,

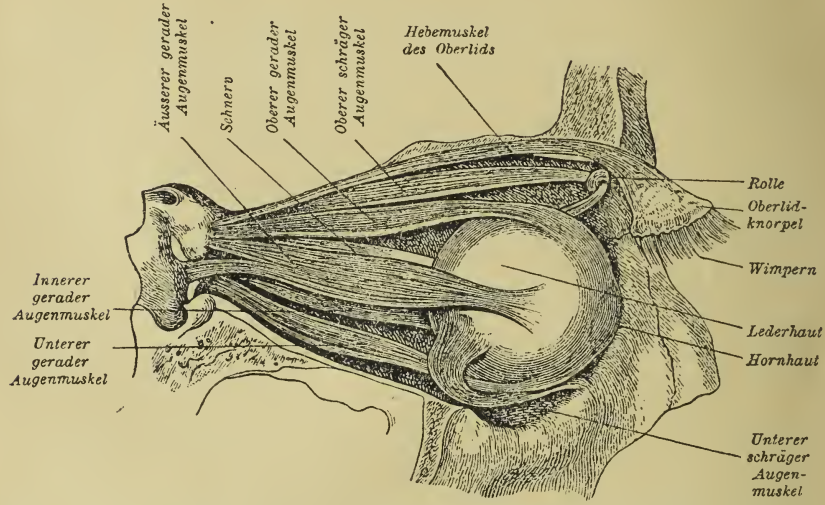


Fig. 1. Der Augapfel und die Augenmuskeln nach Entfernung der knöchernen Schläfenwand. Nach Heitzmann.

daß sie infolge ihrer stärkeren Wölbung die Kugelgestalt des Augapfels nach vorn etwas verlängert. Lederhaut und Hornhaut verleihen dem Auge seine Kugelgestalt, welche entsprechend der Ansatzstelle der Hornhaut eine leichte Einschnürung besitzt. Der Durchmesser dieser Kugel (Länge der Augenachse) beträgt durchschnittlich 24 mm. Etwas nach innen von der Gegend des hinteren Augenpols, der Hornhaut ungefähr gegenüber, befindet sich die Durchtrittsstelle des Sehnervs durch die Lederhaut in das Augeninnere.

Die feste und derbe Hornhaut besteht aus regelmäßig geschichteten Bindegewebsblättchen (Lamellen), ist gefäßlos, aber sehr nervenreich und daher, wie bekannt, außerordentlich empfindlich. Ihre kristallklare

und gleichmäßig gewölbte Oberfläche ist die wichtigste brechende Fläche des Auges und bricht als solche die auffallenden Lichtstrahlen etwa viermal so stark wie die vordere und hintere Linsenfläche zusammen. Man kann auf ihr stets ein Bildchen der vor dem Auge befindlichen Gegenstände (z. B. ein Fensterkreuz, die eigene Gestalt des Beobachters usw.) erblicken; sie erscheinen in verkleinerter Form, aber mit allen Einzelheiten.

Rings um die Hornhaut ist die Lederhaut von der Bindehaut (Conjunctiva) bedeckt, die sich nach oben und unten zwischen den

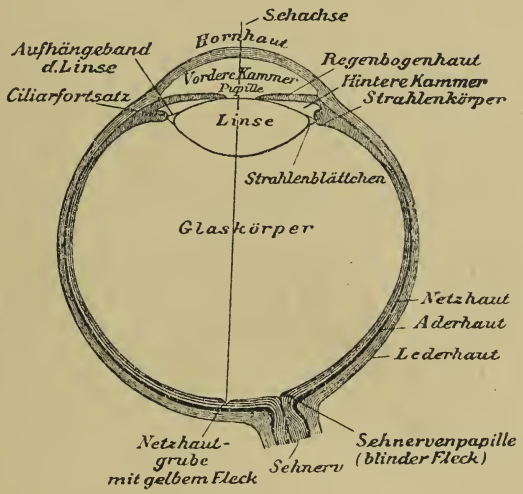


Fig. 2. Horizontalschnitt durch den linken Augapfel.

Augapfel und die knöcherne Augenhöhle einstülpt und dadurch den oberen und unteren Bindehautsack bildet. Sie ist so dünn und zart, daß sie die Lederhaut in Gestalt des „Weißen“ im Auge durchscheinen läßt.

An die Lederhaut schließt sich, nach innen ihr aufliegend, die Ader- oder Gefäßhaut (Chorioidea) an. Wie ihr Name sagt, ist sie reich an Blutgefäßen, die zur Ernährung der nervösen Teile des Augeninneren dienen, und enthält in ihrer innersten, eigentlich schon zur Netzhaut gehörigen Schicht, der Pigmentepithelschicht, größere Mengen eines dunkelbraunen Farbstoffes. Bei Kindern ist die Lederhaut noch so dünn, daß die hinter ihr gelegene dunkle Aderhaut bläulich durchschimmert.

Am Hornhautrand trennt sich die nervenreiche Aderhaut von der Lederhaut und geht in die Regenbogenhaut (Iris) über. Diese stellt eine kreisrunde, blendenartige Scheibe dar mit einer ebenfalls runden, konzentrisch gelegenen Öffnung, der Pupille (Sehloch). Das Vorhandensein von Farbstoff in Gestalt feiner Pigmentkörnchen in dem lockeren, gefäßreichen und elastischen Gewebe der Regenbogenhaut bestimmt die „Farbe der Augen". Er macht die Iris für Licht vollkommen undurchlässig und ist in zwei verschiedenen Schichten in ihr angeordnet. Fehlt er in der vorderen Schicht, so schimmert das Pigment der hinteren Schicht durch und die Augen sehen bei zarter Iris blau wie der blaue Himmel, bei derberer grau aus. Bekanntlich ändert sich die Farbe der Regenbogenhaut in den ersten Lebensjahren und zwar in Übereinstimmung mit der mehr oder weniger starken Pigmentierung des übrigen Körpers, da die Mehrzahl der Menschen mit einer tiefblauen Iris geboren werden. Je nach der Art und dem Grade der Pigmentierung spricht man von hell- und dunkelblauen oder grauen, graugrünen, graublauen, hell- und dunkelbraunen und schwarzen oder auch ganz allgemein nur von hellen und dunklen Augen. In seltenen Fällen weisen beide Augen verschiedene Färbung auf, häufiger ist die Färbung an verschiedenen Stellen der Regenbogenhaut verschieden in Gestalt von Flecken und Sprenkelungen. Auch bei Veränderungen in der Größe der Regenbogenhaut bzw. der Weite der Pupille kann infolge dadurch bedingter Umlagerung der Pigmentkörnchen, die sich hauptsächlich auf der Rückseite der Iris befinden, die Färbung des Auges in bestimmten Grenzen wechseln, z. B. bei Erregungen der Freude, des Zornes, der Liebe usw. Eine große Pupille läßt auch ein sonst helles Auge dunkler erscheinen.

Die Verengerung und Erweiterung der schwarz aussehenden Pupille (das „Schwarze" im Auge) bewirken zwei feine, in das außerordentlich elastische Irisgewebe eingelagerte Muskeln, der Verengerer (Sphincter), mit ringförmig und innen angeordneten, und der Erweiterer (Dilatator) mit strahlenförmig und außen angeordneten Muskelbündelchen. Ihre Tätigkeit ist dem Willen entzogen, also unwillkürlich, erfolgt in erster Linie durch die Einwirkung des Lichtes und dient zur Regulierung der durch die Pupille in das Augeninnere einfallenden Lichtmengen (siehe S. 21).

Zwischen der hinteren Hornhautfläche und der vorderen Irisfläche

befindet sich die vordere Augenkammer, die eine klare, wasserartige Flüssigkeit, das Kammerwasser, enthält. Da, wo in der Augenkammer Regenbogenhaut und Hornhaut zusammenstoßen, befindet sich der Kammerwinkel, durch den der Abfluß des ständig sich erneuernden Kammerwassers stattfindet.

Hinter der Übergangsstelle der Gefäßhaut zur Regenbogenhaut liegt der gewulstete, ringförmige Strahlen- oder Ziliarkörper (Corpus ciliare), der einen Fortsatz der Gefäßhaut darstellt und den zweiteiligen Akkommodations- (Einstell-) oder Ziliarmuskel mit inneren Ring- und äußeren Längsfasern enthält.

An dem Strahlenkörper ist die Kristallinse mittels eines besonderen, in strahlenförmige Falten (Ziliarfortsätze) gelegten Bandapparates, dem Strahlenblättchen oder Ziliargürtel (Zonula Zinnii) befestigt, der an der Innenfläche des Strahlenkörpers entspringt und am Linsenrand (Äquator der Linse) in die Linsenkapsel übergeht und mit ihr verschmilzt. Die Linse (Lens cristallinea) selbst ist ein in der Frontalebene des Ziliarkörpers gelegenes linsenförmiges Gebilde, an der man den härteren, etwas gelblichen Linsenkern von der weicheren Rinde unterscheidet. Sie ist in die Linsenkapsel gebettet und besteht wie diese, ihrem ausschließlichen optischen Zwecke entsprechend, aus vollkommen durchsichtiger, stark lichtbrechender, gefäß- und nervenloser Masse. Bei einem Durchmesser von 9 mm ist sie 5 mm dick. Ihre Gestalt ist bikonvex mit einer hinteren, stärker gekrümmten und einer vorderen, schwächer gekrümmten Fläche. Je nach der Tätigkeit des Akkommodationsmuskels wechselt die Krümmung bzw. Wölbung der elastischen Linse und ermöglicht dadurch, wie wir später sehen werden, ihre verschiedene Einstellung auf größere und geringere Entfernungen.

Die vordere Fläche der Linse berührt die Rückseite des beweglichen Pupillenrandes der Iris, die hintere Fläche ruht in einer tellerförmigen Grube, der Delle des Glaskörpers, der, von einer zarten, durchsichtigen Haut umgeben, den ganzen Hohlraum des Augapfels zwischen Linse und Netzhaut ausfüllt und aus einer klaren und durchsichtigen, farblosen, gallertartigen, 98 Proz. Wasser enthaltenden Masse besteht, welche in den Lücken eines feinen, ebenfalls durchsichtigen Maschenwerkes (Glaskörpergerüst) eingeschlossen ist. Er ist, ebenso wie Linse und Hornhaut, gefäß- und nervenlos

und dient, wie diese, neben der Erhaltung der Spannung des Auges, vornehmlich optischen Zwecken. Ringförmig vor dem äußeren, vorderen Linsenteil gelegen, vorn von der Iris, seitlich außen durch den Ziliarkörper und hinten durch die Linse und die Zonula Zinnii begrenzt, befindet sich die hintere Augenkammer, die mit der vorderen Augenkammer in unmittelbarer Verbindung durch die Pupille steht, dort, wo der bewegliche Pupillenrand lose auf der Linsenkapsel aufliegt.

Der Nervenapparat. Zwischen dem Glaskörper, d. h. der ihn umgebenden dünnen, festen, glashellen Membran und der Aderhaut be-

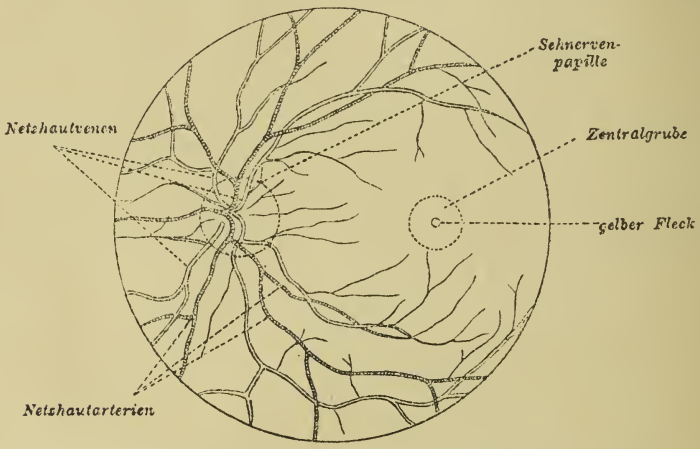


Fig. 3. Der Augenhintergrund mit den Netzhautgefäßen, linkes Auge. Augenspiegelbild. Siebenfache Vergrößerung.

findet sich die Netzhaut oder Retina (siehe Fig. 3), welche als ein dünnes Häutchen die Endausbreitung des Sehnerven bildet und als solche das nervöse Empfangsorgan für die in das Augeninnere eindringenden Lichtstrahlen darstellt. Sie gehört somit zu den wichtigsten Bestandteilen des Sehorgans und erfordert wegen ihres besonders reichgegliederten und feinen Baues eine nähere Betrachtung. Die Netzhaut bekleidet die innere Fläche der Aderhaut, deren Gefäßreichtum in der Hauptsache zu ihrer Ernährung dient, vollständig bis zum Pupillenrand, ermangelt aber in ihrem vorderen Ziliarkörper und Iris überziehenden Teil der nervösen, lichtempfindlichen Elemente. Sie ist von äußerst zarter und feiner Beschaffenheit,

beim Lebenden völlig durchsichtig, von blaßpurpurroter Färbung und von einem feinen Gefäßnetz durchsetzt.

Am hinteren Augenpole, genau gegenüber der Pupille, befindet sich die Netzhautgrube (Fovea centralis), eine ganz seichte, runde oder querovale Vertiefung von 1 bis 1,5 mm Ausdehnung mit dem in ihrer Mitte gelegenen gelben Fleck (Macula lutea), der die Stelle des schärfsten Sehens kennzeichnet und — allerdings erst nach dem Tode — eine dunkelgelbliche Färbung aufweist.

Etwas nasenwärts vom gelben Fleck ist in Gestalt einer ziemlich scharf begrenzten, rundlichen, grauweiß bis graurötlichen Scheibe die Eintrittsstelle des Sehnervs (Papilla nervi optici, Sehnervenkopf) sichtbar, der hier die Leder- und Aderhaut in schräger Richtung von innen her durchbohrt und dessen Fasern in die Netzhaut in Form der Nervenfaserschicht nach vorn ausstrahlen. Diese Übergangsstelle der Netzhaut in den Sehnerven wird auch als Mariotte scher oder blinder Fleck bezeichnet, da sie als frei von Netzhautgewebe für Licht unempfindlich und daher am Sehen nicht unmittelbar mitbeteiligt ist (siehe S. 40). Alle diese Teile der Netzhaut einschließlich des Gefäßnetzes kann man mittels des Helmholtzschen Augenspiegels (siehe S. 35) durch die Pupille hindurch dem direkten Blicke zugänglich machen: Bild des Augengrundes. Er ist je nach der vorhandenen Pigmentmenge hellrot bis rotbraun gefärbt; nur die Papille ist blaß. Von dem roten Grunde heben sich die Netzhautgefäße ab, deren Stämme aus der Mitte der Papille hervortreten. Die Arterien sind durch ihre hellere rote Färbung sowie durch den stärkeren Lichtreflex an ihrer Oberfläche von den dunkleren Venen unterschieden. In den mehr nach außen liegenden Netzhautteilen bemerkt man das durchscheinende dichte Gefäßnetz der Aderhaut. (Vgl. auch S. 16.)

Trotz ihrer geringen Dicke von höchstens 0,5 mm unterscheidet man an der Netzhaut nicht weniger als zehn verschiedene Schichten (siehe Fig. 4), aus denen sich ihr Nervengewebe und das zur Einlagerung und Isolierung der nervösen Elemente dienende Stützgewebe zusammensetzt. Die wichtigste Schicht ist die der Aderhaut zunächst liegende Stäbchen- und Zapfenschicht, auch die Sehzellen genannt, da durch sie die Wahrnehmung des Lichtes und der Farben des uns umgebenden Raumes mit den

Formen und Bewegungen seines Inhaltes vermittelt und durch den Sehnerv zum Gehirn weitergeleitet wird.

Die Stäbchen sind zylindrische Gebilde und bestehen aus einem Außen- und Innenglied, die sich chemisch und physikalisch ganz verschieden verhalten. Die Außenglieder sind in allerfeinste Blättchen zerlegbar, die in ihrer Dicke von 400—600 mil-

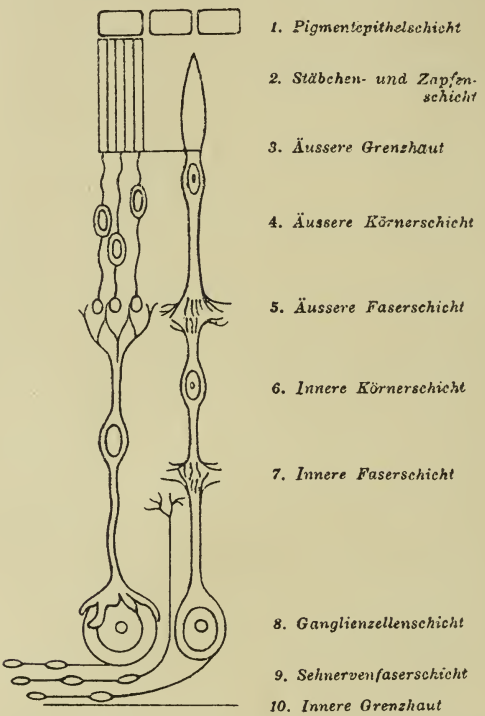


Fig. 4. Mikroskopischer Durchschnitt durch die Netzhautschichten (schematisiert).

liontel Millimeter der Länge der Lichtwellen (siehe S. 83) entsprechen. Sie enthalten einen lichtempfindlichen Farbstoff, den Sehpurpur, der die rote Färbung der Netzhaut bewirkt, durch Belichtung bis zur reinen Farblosigkeit (Sehweiß) gebleicht und im Dunkeln von der zwischen Ader- und Netzhaut liegenden Pigmentepithelschicht her immer wieder erneuert wird. Dem Sehpurpur ist die Möglichkeit zu verdanken, von

einem äußeren Gegenstand ein photographisches Bild auf der Netzhaut zu entwerfen. Nach dem Tode hört die Erneuerung des Sehpurpurs auf und die Netzhaut erscheint daher im Leichenauge als eine weißliche, blasse, zerreißliche Membran. Auf Belichtung der Netzhaut ziehen sich die Stäbchen zusammen. Die Zapfen sind etwas kürzer als die Stäbchen und haben die Gestalt eines Kegels oder einer bauchigen Flasche. Ebenso wie die Stäbchen bestehen sie aus einem Außen- und Innenglied; die Innenglieder verkürzen sich unter der Einwirkung von Licht und verlängern sich im Dunkeln. Die Gesamtzahl der Zapfen stellt nur einen Bruchteil der nach Millionen zählenden Stäbchen dar. Nach dem hinteren Augenpol zu überwiegen aber die Zapfen immer mehr und in der Zentralgrube und im gelben Fleck, der Stelle des schärfsten Sehens und gleichzeitig der dünnsten Stelle der Netzhaut, befinden sich nur noch Zapfen.

Der Weg des Lichtreizes, der innerhalb der Stäbchen und Zapfen verschieden ist, setzt sich vermittels eines zwischen sie geschalteten Apparates von Nervenfasern und -zellen (Ganglien- bzw. Nervenzellenschicht) bis zur Nervenfaserschicht als der direkten Endausbreitung der Sehnerven fort.

Außer diesen radiären Lichtreizleitungen gibt es auch noch nervöse Elemente, welche die Lichtreize parallel der Netzhautfläche in ihr weiter verbreiten. Diese Assoziationssysteme dienen dazu, schon in der Netzhaut räumlich getrennte Empfindungen miteinander zu verbinden.

Der Muskelapparat. Die Bewegungen der Augen werden bewirkt durch sechs je nach der Blickrichtung gleichsinnig zusammenwirkende Augenmuskeln (siehe Fig. 1), vier gerade (oberer, unterer, innerer und äußerer gerader) und zwei schräge (oberer und unterer schräger Augenmuskel). Sie entspringen alle mit alleiniger Ausnahme des unteren schrägen hinten an der Spitze der knöchernen Augenhöhle nahe und im Zusammenhang mit der Eintrittsstelle des Sehnervs und sind mit ihrem sehnigen Ende oben, unten, nasen- und schläfenwärts seitlich an der Lederhaut des Augapfels befestigt. Der obere schräge Augenmuskel verläuft vor seinem Ansatz hinten an der Lederhaut durch eine am oberen knöchernen Augenhöhlenrand nasenwärts gelegene feste, bindegewebige Rolle

oder Schlinge; der untere schräge entspringt nasenwärts am unteren Augenhöhlenrand und setzt sich nach hinten und außen verlaufend schläfenwärts an der Lederhaut fest. Die vier geraden Augenmuskeln bewegen die Augen gleichzeitig nach rechts, links, oben und unten, die zwei schrägen dienen der Rollung der Augen um ihre Längsachse bei gleichzeitiger Hebung oder Senkung. Infolge der Zusammenarbeit dieser Muskeln ist das Auge nach allen Richtungen um einen fixen Punkt, den Drehpunkt, drehbar, dessen Lage sich etwa 13,5 mm hinter dem Hornhautscheitel und 1,3 mm hinter dem Mittelpunkte des Auges befindet. Durch den Drehpunkt des Auges, sich hier rechtwinklig schneidend, gehen seine drei Hauptachsen, die mit der Gesichtslinie zusammenfallende sagittale von vorn nach hinten, die transversale von rechts nach links und die vertikale von oben nach unten. Als Blicklinie bezeichnet man die Gerade, welche den Drehpunkt des Auges mit dem fixierten Punkt der Außenwelt verbindet. Durch die Blicklinien beider Augen hindurch geht die Blickebene. Die beiden Augen stehen in der Primärstellung, wenn die beiden Gesichtslinien horizontal und parallel geradeaus gestellt sind.

Normalerweise geht die Tätigkeit der Muskeln beider Augen derart vor sich, daß die Bewegungen beider Augen vollkommen gleichsinnig erfolgen. Ist das Muskelgleichgewicht gestört, so stellen sich die Augen in einen Winkel zueinander, es entsteht das Schielen (Strabismus). Je nach der Richtung der Abweichung des einen Auges spricht man von Einwärts- oder Auswärtsschielen. Im Gegensatz zu diesen bekanntlich recht häufigen Abweichungen sind solche nach oben und unten sehr selten.

Die Ernährung des Auges wird innerhalb seiner allseitig geschlossenen Kapsel durch ein sehr reichliches Gefäßnetz bewirkt, welches sich besonders in der Aderhaut und deren Fortsetzungen, dem Ziliarkörper und der Regenbogenhaut verbreitet. Die hierdurch stattfindende reichliche Blutzufuhr bezweckt nicht allein, dem Auge das notwendige Ernährungsmaterial zuzuführen, sondern hat außerdem die wichtige Aufgabe, die normale Spannung im Auge aufrecht zu halten und zu regeln, deren Störung leicht zu tiefgreifenden Schädigungen des Sehorgans führen kann (Grüner Star s. S. 272).

Die Schutzorgane des Auges. Das Auge ist oben, unten, hinten und an den Seiten durch knöcherne Wände geschützt. Am oberen Augenhöhlenrande verlaufen in der Haut die Augenbrauen, zwei schön geschwungene, mehr oder weniger dichte Reihen schräggestellter Haare von der Farbe des Haupthaars, die das Auge vor dem von der Stirn herabrinnenden Schweiß schützen.

Gegen von vorn kommende äußere Einflüsse sind die Augen durch die Augenlider geschützt, deren Öffnung und Schließung bewußt und unbewußt, z. B. durch Reizung der Netzhaut, der Bindehaut, der Hornhaut und der Wimpern äußerst schnell hervorgerufen wird,

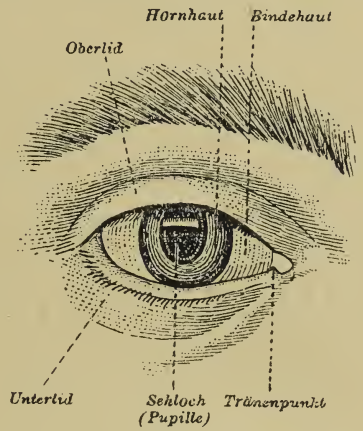


Fig. 5. Das rechte Auge von vorn. (Natürl. Größe.)

um nicht nur eine Reihe von äußeren Schädlichkeiten vom Auge fernzuhalten, sondern auch das Licht abzuschließen und so der Netzhaut von Zeit zu Zeit Gelegenheit zum Ausruhen zu geben. Die Bewegung der Lider wird durch die ringförmig eingelagerte, unter der Haut befindliche Muskulatur bewirkt. Unter der Ringmuskulatur liegen die knorpeligen Lidplatten (Lidknorpel), die den Lidern die nötige Festigkeit, Form und Stütze geben. Vorn auf den beiden Lidrändern stehen die Lidwimpern, welche, in der oberen Reihe zahlreicher als in der unteren aneinandergereiht stehen und in sanftem Bogen nach oben bzw. nach unten umbiegen. Sie dienen als Schutzvorrichtung gegen das Eindringen von Staubteilchen usw., ihre Berührung löst sofort unwillkürlich einen schützenden Lidschlag aus, der natürlich auch dann eintritt, wenn das Auge selbst berührt wird. (Fig. 5.)

Die scharfgeschnittene Lidspalte bestimmt die Form und Sichtbarkeit des Auges und damit im wesentlichen den gesamten Gesichtseindruck. Die hintere Bekleidung der Lider schlägt sich als Lidbindehaut unter starker, die Beweglichkeit des Auges gewährleistender Faltenbildung — oberer und unterer Bindehautsack — auf den Augapfel bis zum Hornhautrand über. Die Schleimhaut der Lidbindehäute und darin eingebettete größere und kleinere Drüsen liefern als weitere Schutzorgane des Auges die den Augapfel schlüpfrig und glänzend erhaltende Tränenflüssigkeit, sowie Talg zum Befetten der Lidränder. Die größte, speziell als Tränendrüse bezeichnete liegt, mandelähnlich geformt und abgeplattet, mit ihren 7 bis 10 feinen Ausführungsgängen oben und außen vom Augapfel zwischen Stirnbein und Bindehautsack. Der nicht verdunstende Teil der fortdauernd in geringer Menge abgesonderten Tränenflüssigkeit berieselt mit einer dünnen Schicht die Hornhaut, um sie rein zu halten, sie und die anderen vorderen Teile des Auges vor dem Austrocknen zu schützen und allerlei schädigende Stoffe, welche sich in den Bindehautfalten ansammeln könnten, aus ihnen herauszuspülen. Dies geschieht mit Hilfe des Lidschlages, der die Tränenflüssigkeit nach dem inneren Augenwinkel in den sogenannten Tränensee befördert. Hier wird der Rest mittels der Tränenkanälchen dem Tränensack und von da nach unten durch den Tränennasenkanal weiter der Nase zugeleitet. Die Tränenkanälchen beginnen in Gestalt der beiden mit bloßem Auge eben sichtbaren Tränenpunkte, die im inneren Lidwinkel auf dem freien Rande des Ober- und Unterlides sich gegenüberliegen. Nur bei stärkerer Absonderung infolge chemischer, mechanischer oder nervöser („seelischer") Einflüsse ergießen sich die Tränen über den Lidrand auf die Wangen und erzeugen das „Tränen der Augen" bzw. das „Weinen".

Der Sehnerv und die Sehgebiete des Gehirns. Der Sehnerv (nervus opticus) ist ein vorgestülpter Teil der weißen Gehirnsubstanz, stellt die Verbindung zwischen Augapfel und den nervösen Sehzentren im Gehirn her und leitet die von den nervösen Netzhautelementen aufgenommenen Lichtreize zum Gehirn weiter (siehe Fig. 6). Er verläßt, nach hinten innen und etwas nach unten leicht geschlängelt verlaufend, als 4 mm dicker, von festen, die Fortsetzung der harten

und weichen Hirnhaut bildenden Bindegewebsscheiden umgebener Nervenstrang die Augenhöhle durch einen knapp 1 cm langen knöchernen Kanal (Canalis opticus) und tritt an der unteren Fläche des Gehirns in die Schädelhöhle. Er enthält eine große Anzahl durch Bindegewebshüllen getrennter Nervenbündel, die wieder in eine Unzahl

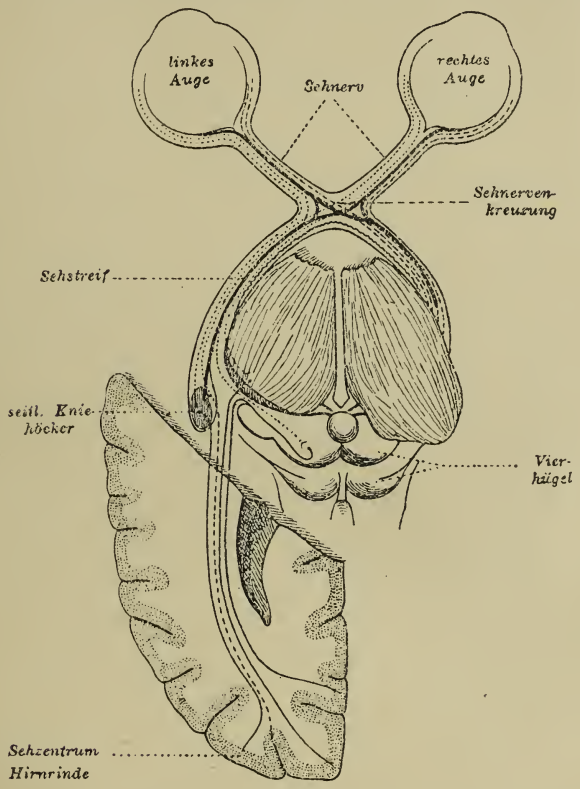


Fig. 6. Leitung der Sehempfindung durch die Sehnerven zum Gehirn. $^2/_3$ natürl. Größe. Die starke Linie im Sehstreif: Fasern des gelben Flecks.

einzelner feiner Nervenfasern zerfallen. Kurz vor seinem Eintritt in den Augapfel nimmt er die die Netzhaut mit Blut versorgende Zentralarterie, sowie die ableitende Zentralvene in sein Inneres auf. Die Stelle seines Eintritts in den Augapfel und seiner Ausstrahlung in die Netzhaut heißt, wie schon erwähnt, der Sehnervenkopf (richtiger Sehnervenscheibe) oder die Papille des Sehnervs (der „blinde" Fleck).

Die Bezeichnung „Sehnervenkopf" ist insofern unrichtig und irreführend, als es sich bei der so bezeichneten Eintrittsstelle des Sehnervs in den Augapfel nicht um eine (früher vermutete) Hervorragung in das Augeninnere handelt; er liegt vielmehr vollkommen flach in der Ebene der Netzhaut und besitzt sogar eine zentrale, trichterförmige Vertiefung, aus der die beiden die Netzhaut versorgenden Zentralgefäße des Sehnerven, die Arteria und Vena centralis, hervortreten und sich nach ihrem Austritt baumartig in der Netzhaut zu einem immer feiner und zarter werdenden Gefäßnetzwerk verteilen. Dies ist die einzige Stelle des Körpers, an der die Blutgefäße einer so unmittelbaren Betrachtung zugänglich sind. Beim Durchtritt durch die Lederhaut erleidet der Sehnerv eine Art Einschnürung und spitzt sich konisch zu. Infolgedessen ist der Durchmesser der Papille um mehr als die Hälfte kleiner als derjenige des Sehnerven vor seinem Eintritt in den Augapfel und beträgt nur 1,6 mm. Diese Einschnürung und Verjüngung des Sehnervs kommt dadurch zustande, daß er hier seine bis dahin markhaltigen und daher undurchsichtig-weißen Nervenfasern verliert und somit einen Substanzverlust erleidet. Eine weitere Folge davon ist das graue, durchscheinende Aussehen des Sehnervenkopfes, wie er sich im Augenspiegelbilde schon während des Lebens darstellt. Auch ermöglicht das Durchscheinendwerden der in der Netzhaut endigenden Sehnervenfaserelemente infolge des Markverlustes das ungehinderte Eindringen der Lichtstrahlen in sie.

Auf ihrem Wege zum Gehirn treffen sich die beiden konvergent nach innen verlaufenden Sehnerven kurz nach ihrem Eintritt in die Schädelhöhle und bilden bei ihrer Vereinigung unter teilweisem Austausch ihrer Nervenfaser die Sehnervenkreuzung (Chiasma). In der Kreuzung gelangt das größere innere Nervenbündel auf die andere Seite, während das äußere ungekreuzt bleibt. Hinter der Kreuzung trennen sich die Fasersysteme wieder und verlaufen als rechter und linker Sehstrang oder Sehstreif (Tractus nervi optici) in stark divergierender bogenförmiger Richtung und in zwei Wurzeln getrennt nach den in dem sogenannten äußeren Kniehöcker, der vorderen Vierhügelregion und in dem Polster des Sehhügels an der Gehirnbasis gelegenen primären Sehnervenzentren, die als Endstation des Sehnervs aufzufassen sind. Sie stehen durch die Sehstrahlung in Verbindung mit dem

entsprechenden Hinterhauptlappen, wo sie zu den als Sehsphäre oder Rinden-Sehzentrum bezeichneten Ganglienzellen der Hirnrinde („optisches Rindenfeld") ausstrahlen. In diesen neben und hinter der Scheitelhirnhauptfurche, im sogenannten Zwickel oder Keil gelegenen Sehsphären werden die in der Netzhaut durch die Lichteinwirkung zustande gekommenen Erregungen oder Reize nach erfolgter Weiterleitung durch Sehnerv, Kreuzung und Sehstrang in Lichtempfindungen umgesetzt. Dabei gelangen infolge der erwähnten eigenartigen Anordnung des Kreuzungsmechanismus der Sehnerven die von den rechten Netzhauthälften beider Augen stammenden Sehnervenfasern nur in die Sehsphäre des rechten, die von den linken Netzhauthälften stammenden Fasern nur in die Sehsphäre des linken Hinterhautlappens, und in analoger Weise verlaufen selbstverständlich auch die durch die Lichtstrahlen erzeugten Erregungen, also die Lichteindrücke, welche die jeweiligen Netzhauthälften von außen erhalten. Es kommt demnach alles, was der Mensch auf seiner linken Seite sieht, durch Erregung der Nervenzentren in der rechten Hinterhauptsrinde zum Bewußtsein und umgekehrt. Es ist noch dahingestellt, ob eine ganz genaue Projektion der beiden Netzhäute auf die Rindenfelder in den Hinterhauptlappen stattfindet oder ob jedes Netzhautelement ein ganzes Gebiet von Elementen der Sehrinde, dabei aber einige in höherem Maße als andere beeinflußt.

In den Scheitellappen und der hinteren Zentralwindung der Gehirnrinde liegen vornehmlich die Zentren für die Verwertung der Gesichtsempfindungen zur Beurteilung der Gestalt und äußeren Beschaffenheit der sichtbar gewordenen Körper und Gegenstände. Als „optisches Erinnerungsfeld" wird ein bestimmter Bezirk der Rinde des Hinterhauptlappens bezeichnet, durch welchen die Verknüpfung der Erinnerungsbilder der Gesichtswahrnehmungen vermittelt wird. Er steht mittels besonderer Assoziationsfasern mit den benachbarten optischen Wahrnehmungszentren in Verbindung. Es ist überhaupt sehr wahrscheinlich, daß alle, auch die einfachsten Gesichtsempfindungen ihr Entstehen dem Zusammenwirken mehrerer verschiedener Rindenregionen verdanken.

Die Bewegungen der äußeren Augenmuskeln werden von Nervenzentren in den Rindengebieten des Stirnlappens, des unteren Scheitellappens, des Hinterhauptlappens und des Schläfenlappens beherrscht.

Die aus diesen Zentren entspringenden nervösen Leitungsbahnen streben in ihrem weiteren Verlauf nach dem Inneren des Gehirns zu den Kerngebieten im Hirnstamm, von wo sie als die entsprechenden paarig angeordneten Bewegungsnerven das Gehirn verlassen und sich zu den betreffenden Augenmuskeln hin begeben, deren Bewegung sie vermitteln. Auch die Bewegungen der beiden Pupillenmuskeln, des Akkommodationsmuskels sowie der Augenlidermuskulatur werden durch besonders verlaufende Nervenfasern reguliert, deren Nervenzentren oder Ursprungskerne vornehmlich an der Gehirnbasis gelegen sind.

Zweites Kapitel.

Die optischen Eigenschaften des Auges.

Das Auge als optisches System. Um die lichtempfindlichen Teile des Auges, nämlich die Netzhaut als Endausbreitung des Sehnerven instand zu setzen, die von außen in das Auge dringenden Eindrücke weiter zum Gehirn zu leiten, wo diese Reize in Gesichtsempfindungen umgesetzt werden sollen, ist das Sehorgan mit Einrichtungen versehen, die es befähigen, den Lichtstrahlen den Eintritt in das Auge zu verschaffen und sie bis zur Netzhaut so zu vereinigen, daß auf ihr eine scharfe Abbildung der Außenwelt entsteht. Denn eine deutliche Vorstellung eines mit dem Auge wahrgenommenen Gegenstandes können wir nur in dem Falle erhalten, wenn jeder einzelne Punkt desselben auf seinen bestimmten Punkt der Netzhaut einwirkt.

Die Darstellung der Anatomie des Auges hat uns darüber belehrt, daß die Hüllen des Augapfels im Bereiche seines vorderen Poles durch Bestandteile von durchsichtiger Beschaffenheit ersetzt sind. Diese Teile, nämlich die Hornhaut, das Kammerwasser der vorderen Kammer und die Linse sind in ihrer frontalen Stellung hintereinander, ohne Rücksicht auf ihre sonstige Beschaffenheit, derart angeordnet, daß von außen kommende, in sagittaler Richtung parallel miteinander verlaufende und auf die Hornhautmitte auftreffende Lichtstrahlen die Hornhaut, das Kammerwasser, die Linse im Bereiche des Sehloches sowie den ebenfalls durchsichtigen Glaskörper durchdringen und auf die Netzhaut an der Stelle des schärfsten Sehens in der Gegend der Netzhautgrube am hinteren Augenpol auftreffen (siehe Fig. 9). Die Lichtstrahlen sind daher imstande, nach Vollendung dieses Weges, der ihnen durch die Bauart des Auges ermöglicht wird und der dem Verlauf der Augenachse entspricht, ihren Reiz auf die genannte Netzhautstelle auszuüben.

Damit sind aber noch nicht alle Bedingungen für das Zustande-

kommen der das richtige Sehen vermittelnden Netzhauterregungen gegeben. Es ist vielmehr noch notwendig, daß die Lichtstrahlen vor ihrem Auftreffen auf die Netzhaut in bestimmter Weise gebrochen werden, damit das Bild des die Lichtstrahlen aussendenden Gegenstandes in ähnlicher Weise wie auf der photographischen Platte in der Kamera (siehe Fig. 7) in richtiger Schärfe auf der Netzhaut zustande kommt. Zu diesem Zwecke dient, wiederum analog der Konvexlinse der photographischen Kamera, das System der lichtbrechenden Medien des Auges. Diese werden aber nicht nur, wie in der Kamera, von der Linse allein dargestellt, sondern sie setzen sich, wie gesagt, aus der Hornhaut mit ihren beiden gewölbten Flächen, dem Kammerwasser, der bikonvexen Kristallinse und dem das Augeninnere ausfüllenden Glaskörper zusammen. Der Gang der Lichtstrahlen im Auge wird genauer bestimmt erstens durch das Brechungsvermögen

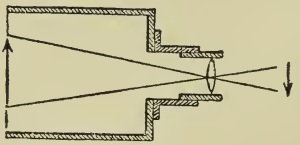


Fig. 7. Photographische Kamera (schematisch).

der einzelnen Augenmedien, zweitens durch die Größe der Krümmungshalbmesser der brechenden Oberflächen, drittens durch die Entfernung der einzelnen brechenden Flächen voneinander.

Von diesen ist die Hornhaut beim Sehen in der Luft das am stärksten lichtbrechende Medium[1]), während die optische Funktion der Linse darin besteht, die schon von der Hornhaut konvergent gemachten Lichtstrahlen noch so weit zu sammeln, daß sie sich genau auf der Netzhaut schneiden. Das ganze Brechungssystem hat daher für parallel auf die Hornhaut treffende Lichtstrahlen beim normalsichtigen ruhenden Auge seinen Brennpunkt genau in der Ebene der Netzhaut, und zwar in der Netzhautgrube, wo infolgedessen ein scharfes, verkleinertes, umgekehrtes Bild des die Lichtstrahlen aussendenden Gegenstandes entworfen wird. Die Ähnlichkeit mit der nur viel einfacher gestalteten

[1]) Beim Tauchen im Wasser bricht das Auge das Licht zu schwach und sieht wie ein übersichtiges Auge undeutlich, da scharfe Bilder erst weit hinter der Netzhaut entworfen werden können.

photographischen Kamera ist also vollkommen. Ihre den Lichteintritt regulierende Blende wird im Auge durch die Pupille mit ihrem automatisch arbeitenden Muskelspiel, die dunkle Wandung durch das dunkle Aderhautpigment zwischen Lederhaut und der ebenfalls pigmenthaltigen Netzhaut, die lichtempfindliche Platte durch die Netzhaut mit ihren lichtempfindlichen Substanzen dargestellt.

Die Verengerung und Erweiterung der Iris wird durch die Tätigkeit der beiden in das Irisgewebe eingelagerten Muskeln bewirkt, welche die Anpassung des Auges an die verschiedenen Lichtstärken regeln, indem sie den Durchmesser der Pupille je nach dem Grade ihrer Zusammenziehung zwischen 0,6 und 1,2 mm variieren können. Bei zunehmender Lichtstärke tritt der Verengerer (Sphincter) der Pupillen in Tätigkeit, vermindert durch Verkleinerung des Pupillendurchmessers die Menge der in das Auge einfallenden Lichtstrahlen und begegnet so der Gefahr einer Netzhautschädigung durch Blendung. Auch bei der Einstellung des Auges für das Sehen in der Nähe (siehe S. 23) tritt eine leichte Verengerung der Pupille ein. Bei abnehmender Lichtstärke sowie beim Sehen in die Ferne kommt es infolge Zusammenziehung der Muskelfasern des Dilatator pupillae zu einer Erweiterung der Pupille, um einer entsprechend größeren Menge von Lichtstrahlen den Eintritt in das Augeninnere zu ermöglichen. Außerdem dient die Iris dazu, die Randstrahlen abzuhalten, die sonst durch den peripheren Teil der Linse gehen und hier eine ungeeignete Brechung erfahren würden, was eine Beeinträchtigung der Schärfe des Netzhautbildes zur Folge hätte. Sie wirkt daher im ganzen als ein für Lichtreize äußerst empfindliches Diaphragma, wozu sie außer durch ihre Beweglichkeit noch durch die Lichtundurchlässigkeit ihres Gewebes befähigt wird.

Die Pupillenbewegungen gehen unbewußt und unwillkürlich vor sich. Normalerweise zeigen die beiden Pupillen stets die gleiche Weite und die Beantwortung der verschiedenen Reize erfolgt in beiden in der gleichen Weise und gleichzeitig. Die Pupillenweite ist bei mittlerer Lichtstärke bei den einzelnen Individuen recht verschieden, doch steht sie in engen Beziehungen zum jeweiligen Lebensalter. Beim Neugeborenen ist die Pupille sehr eng; in den mittleren Lebensjahren durchschnittlich am weitesten, mit zunehmendem Alter verengert sie sich wieder allmählich und erreicht im Greisenalter ihren kleinsten Durchmesser. Mittels des Helmholtzschen Augenspiegels ist

die Möglichkeit gegeben, durch die Pupille hindurch das Innere des Auges oder richtiger den Hintergrund des Augeninneren unserer direkten Beobachtung zugänglich zu machen (siehe S. 35).

Die Einstellung des Auges für verschiedene Entfernungen (die Akkommodation). Des weiteren ist für einen Mechanismus gesorgt, der jeweils die scharfe Einstellung der Bilder auf der Netzhaut gewährleistet oder, was dasselbe bedeutet, die Lichtbrechungsverhältnisse des Auges ändert. Während dies aber bei der photographischen Kamera durch ein geringes Verschieben entweder der Linse oder der lichtempfindlichen Platte nach vorn oder nach hinten bewirkt wird, geschieht dies beim Auge durch eine Veränderung der

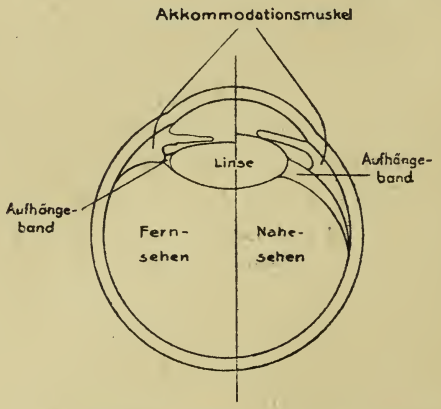


Fig. 8. Akkommodationsvorgang im Auge (schematisiert).

Krümmung und der durch sie bestimmten Brechkraft der Linse selbst. Diese Formveränderung wird ermöglicht einerseits durch die Elastizität der Linse und die Art ihrer Befestigung an dem Ziliarkörper, andererseits durch die automatisch erfolgende Tätigkeit des im Ziliarkörper ringförmig eingebetteten Ziliarmuskels, auch Akkommodations- oder Einstellungsmuskel genannt (siehe Fig. 8). In der Ruhelage des Ziliarmuskels befindet sich das Befestigungs- oder Aufhängeband der Linse, die Zonula Zinnii, in einem bestimmten Spannungszustande, der bewirkt, daß die aus elastischem Gewebe bestehende Linse im Zustande der größtmöglichen Abflachung gehalten wird und daß ihrem natürlichen Bestreben, sich der Kugelgestalt zu nähern, möglichst entgegengearbeitet wird.

In diesem Zustande der Ruhe werden parallel, also aus großer Entfernung auf die Hornhaut fallende und von dieser bereits stark gebrochene Lichtstrahlen beim Durchtritt durch die Linse des normalsichtigen Auges derart weiter gebrochen, daß ihre Vereinigung, d. h. ihr Brennpunkt in die Ebene der Netzhaut fällt und auf dieser ein scharfes Bild des Gegenstandes entworfen wird, der die Strahlen geradlinig in der Richtung der Augenachse in das Auge entsendet. Man bezeichnet diesen Zustand als denjenigen des ruhenden, für die unendliche Ferne eingestellten Auges.

Um ein entsprechend scharfes Sehen auch für alle von nähergelegenen Punkten her in das Auge fallenden Lichtstrahlen zu ermöglichen, tritt infolge unwillkürlicher, je nach der größeren oder geringeren Nähe automatisch erfolgender, mehr oder weniger starker Zusammenziehung des Ziliarmuskels ein entsprechendes Nachlassen des Span-

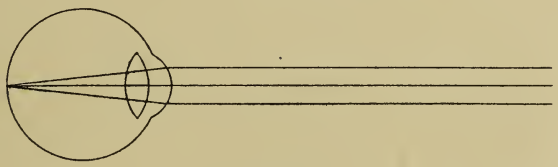


Fig. 9.

nungszustandes des Aufhängebandes der Linse ein. Diese Entspannung hat ihrerseits zur Folge, daß die Wölbung der vorderen und in geringerem Maße auch der hinteren Linsenfläche ihrer natürlichen Elastizität folgend zunimmt, die Linse also eine stärkere Brechungskraft als im Zustande der Ruhe gewinnt. Es geht daraus hervor, daß nur die Einstellung des Auges für die Nähe, nicht aber auch die für die Ferne durch Muskelwirkung ausgeführt wird.

Man bezeichnet diese Einstellungsfähigkeit der Linse als ihre Akkommodationskraft und den ganzen Vorgang als Einstellungs- oder Akkommodationsmechanismus des Auges. Seine regulierende, einstellende, je nach der wechselnden Entfernung mehr oder weniger stark auf die Wölbungsflächen der Linse wirkende Tätigkeit äußert sich darin, daß nunmehr auch die von allen näher als unendlich weit gelegenen Punkten kommenden Lichtstrahlen ihre Vereinigung, d. h. ihren Brennpunkt in der Netzhaut finden können und je nach der Einstellung ein scharfes Bild auf ihr entstehen lassen,

wodurch erst ein deutliches Sehen ermöglicht wird (siehe Fig. 9). Es ist aber unmöglich, in erheblich verschiedener Entfernung vom Auge in der Blickrichtung befindliche Gegenstände gleichzeitig scharf zu sehen, sie gleichzeitig „ins Auge zu fassen".

Man kann sich davon leicht durch einen einfachen Versuch überzeugen, indem man vor ein Auge bei geschlossenem anderen ein aufgeschlagenes Buch hält und in die Mitte zwischen Auge und Buch einen kleinen Gegenstand, z. B. einen Schleier oder eine Bleistiftspitze bringt. Es ist nun nicht möglich, beides, sowohl den Druck des Buches als auch den Schleier oder die Bleistiftspitze gleichzeitig deutlich zu sehen. Entweder man fixiert den Druck, sieht dann aber die Maschen des Schleiers oder die Spitze des Bleistiftes undeutlich oder umgekehrt. Fixiert man abwechselnd den Druck und den Schleier bzw. den Stift, so empfindet man den Vorgang einer leichten Veränderung im Auge, und diese Veränderung ist nichts anderes als der Vorgang der bald angespannten, bald nachgelassenen Akkommodation, wodurch die optische Einstellung des Auges sich jeweils ändert.

Während der fixierte Gegenstand von dem auf ihn eingestellten Auge deutlich erkannt wird, weil auf der Netzhaut ein kleines umgekehrtes scharfes Bild von ihm entworfen wird, oder mit anderen Worten, weil die von dem Gegenstande ausgehenden Lichtstrahlen auf der Netzhaut ihren Vereinigungspunkt finden, werden in gewisser Entfernung vor oder hinter dem fixierten Gegenstande befindliche Objekte in Zerstreuungskreisen, d. h. undeutlich gesehen, weil die von diesen Objekten kommenden Lichtstrahlen entweder schon vor oder erst hinter der Netzhaut zur Vereinigung kommen, die Netzhaut selbst also statt in Punkten nur von den auf Kreisflächen verteilten Lichtstrahlen getroffen wird. Je fehlerhafter die Einstellung, desto weiter vor oder hinter der Netzhaut liegt die Vereinigungsstelle der Lichtstrahlen, desto größer ist die von der Netzhaut abgeschnittene Spitze des Strahlenkegels und sein dadurch auf der Netzhaut erzeugter Querschnitt, nämlich der Zerstreuungskreis, und desto undeutlicher wird das Sehen. Die runde Form dieser Zerstreuungskreise ist durch die Form der Pupille bedingt, da diese ihrer Wirkung als Blende entsprechend die Basis des Strahlenkegels bildet, und ebenso hängt von ihrer größeren oder geringeren Weite die Größe der Zerstreuungsbilder ab. Der Vorgang der Akkommodation ist indessen nicht unbegrenzt,

seine Grenzen werden bestimmt durch den zwischen Fern- und Nahpunkt gelegenen Akkommodationsbereich. Der Fernpunkt ist der dem Auge fernstgelegene Punkt, für den es sich bei völliger Erschlaffung der Akkommodation, der Nahepunkt jener dem Auge nächstgelegene Punkt, für den es sich bei stärkster Anspannung der Akkommodation noch gerade einstellen läßt. Nur innerhalb dieses Akkommodationsbereiches ist also im normalen Auge der Akkommodationsvorgang wirksam, um scharfes, deutliches Sehen zu ermöglichen. Während der Fernpunkt als unendlich weitliegend angenommen wird, befindet sich der Nahepunkt, der praktisch durch das Lesen kleinster Buchstaben und Zahlen in geringster Entfernung von den Augen festgestellt wird, in einer nach Zentimetern abzumessenden Entfernung vom Auge. Diese ist um so kleiner, je jünger das Individuum ist, und wird mit den zunehmenden Lebensjahren größer, und zwar in regelmäßiger Zunahme. Im 20. Lebensjahre z. B. befindet sich der Nahepunkt durchschnittlich 10 cm vor dem Auge. Vom Beginn etwa des 25. Lebensjahres an nimmt die Elastizität der Linse und damit ihre Brechung und Akkommodationskraft infolge zunehmender Verhärtung und Kleinerwerden des Linsenkernes durch Wasserverlust allmählich und gleichmäßig bis zum Greisenalter ab. Dadurch erhält die Netzhaut von ganz nahegelegenen Gegenständen immer weniger scharfe Bilder. Diese Abnahme der Akkommodationskraft macht sich von der Mitte der vierziger Jahre an in allmählich immer zunehmendem Maße insofern störend geltend, als nunmehr bei den gewohnten Entfernungen der Nahearbeit, z. B. beim Lesen, immer weniger deutliche Bilder trotz stärkerer Inanspruchnahme der Akkommodationstätigkeit gewonnen werden. Es tritt die sogenannte Alterssichtigkeit (Presbyopie) (s. S. 33) ein, die dazu führt, kleine Gegenstände in immer größere Entfernungen vom Auge zu bringen, um sie noch deutlich erkennen zu können, bis schließlich Lesen oder feinere Arbeit überhaupt unmöglich wird. Mit dem 65. bis 70. Lebensjahre hört die Akkommodation ganz auf.

Die nicht mehr ausreichende Brechkraft des Auges vermögen wir indes auf künstliche Weise dadurch auszugleichen und zu beheben, daß wir das Auge mit einem künstlichen Linsensystem, bestehend aus linsenförmig (bikonvex) geschliffenen Brillengläsern, versehen, die je nach dem Alter und der dadurch bedingten Abnahme der natürlichen

Brechkraft des Auges passend ausgewählt und vor das Auge gebracht werden müssen. Die Alterssichtigkeit ist demnach keine Krankheit, sondern ein physiologischer Zustand, welchem alle Augen unterliegen.

Nicht zu verwechseln mit dem Akkommodationsbereich ist die Akkommodationsbreite. Sie stellt den Grad der Vermehrung der Brechkraft dar, welche das Auge beim Übergang von der Akkommodationsruhe zur stärksten Akkommodationsanspannung erfährt. Diese Akkommodationsarbeitsleistung wird gemessen durch die Zunahme der Brechkraft, wie sie als Unterschied zwischen dem Brechwert des Auges bei Akkommodationsanspannung und bei Akkommodationsruhe zum Ausdruck kommt.

Als Einheitsmaß für die Brechkraft eines optischen Linsensystems dient die Meterlinse oder Dioptrie (D), d. h. die Brechkraft einer Linse, die eine Brennweite von 1 m besitzt. Werden parallel einfallende Strahlen durch eine solche Linse gebrochen, so vereinigen sie sich in einem Punkte, dem Brennpunkte, der bei einer Konvexlinse 1 m hinter und bei einer hohlgeschliffenen (Konkav-)linse 1 m vor ihr liegt. Eine Linse von 2,0 D, 3,0 D usw. bricht demnach doppelt, dreifach so stark als eine solche von 1,0 D und besitzt somit eine Brechkraft $= \frac{2}{1\text{ m}}, \frac{3}{1\text{ m}}$ usw. Hieraus ergibt sich die Berechnung der Brennweite einer Linse, die umgekehrt proportional der Brechkraft ist und daher $\frac{1\text{ m}}{2}, \frac{1\text{ m}}{3}$ usw. beträgt. Man unterscheidet bekanntlich Sammel(Konvex-)linsen und Zerstreuungs(Konkav-)linsen. Die Sammellinsen haben eine positive (+) Brennweite, machen also parallel einfallende Strahlen konvergent und vereinigen sie in dem Brennpunkt; sie machen konvergente Strahlen noch konvergenter und divergente (auseinanderlaufende) Strahlen weniger divergent oder auch konvergent, ersteres, wenn sie von einem Punkt jenseits des Brennpunktes divergieren, letzteres, wenn von einem solchen diesseits des Brennpunktes. Die Zerstreuungslinsen haben eine negative (—) Brennweite, machen parallel auffallende Strahlen divergent, divergente noch mehr divergent, konvergente weniger konvergent oder divergent. Der Brennpunkt einer Konvexlinse von 1,0 D, 2,0 D, 3,0 D liegt also bei parallel einfallenden Strahlen in 100 cm, 50 cm, 33,3 cm Entfernung hinter, und bei Konkavlinsen in der gleichen Entfernung vor dem Auge. Da es bei einer Konkavlinse zur Zerstreuung der Strahlen kommt, so

müssen diese entsprechend ihrer Einfallsrichtung, also nach vorn zu bis zu ihrem hier befindlichen Schnitt- oder Brennpunkt verlängert werden. Hier kommt es zu einem aufrechten, virtuellen (siehe unten) Bild des die Lichtstrahlen aussendenden Gegenstandes, während es bei den Konvex- oder Sammellinsen zu einem hinter ihnen gelegenen umgekehrten reellen Bild kommt.

Das Sehvermögen (die Sehleistung). Die Fähigkeit des Auges, kleine Gegenstände zu unterscheiden, wird nicht nur bestimmt durch die richtige Funktion des Akkommodationsapparates, der die Bilder der Außenwelt stets in die Ebene der Netzhaut rückt, sondern ist weiter noch abhängig von der Fähigkeit des Auges, die von verschiedenen Punkten der Außenwelt ins Auge gelangenden Licht-

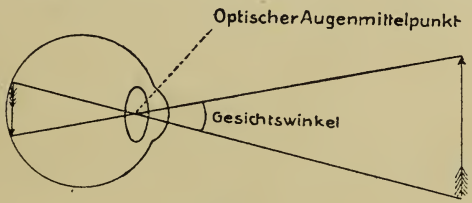


Fig. 10.

strahlen auf der Netzhaut gesondert als Reize wirksam werden zu lassen. Je näher zwei oder mehrere in gleich großer Entfernung vom Auge befindliche Punkte beieinander liegen, um so größer muß die Fähigkeit der Netzhaut sein, von diesen Punkten getrennte Bilder zu erhalten, und um so größer ist die Sehleistung. In dem Augenblick, wo die benachbarten Punkte noch eben voneinander unterschieden werden können, ohne in einen zu verschmelzen, ist das äußerste Maß und die Grenze der Sehleistung erreicht.

Diese Bedingungen sind in der Gegend des gelben Fleckes am vollkommensten erfüllt, wo dichtgedrängt Zapfen an Zapfen stehen, die ja für die Feinheit des Unterscheidungsvermögens maßgebend sind. Da nachgewiesenermaßen zwei Bildpunkte, die voneinander unterscheidbar sein sollen, mindestens 0,002 mm auseinanderliegen müssen, der Durchmesser der Zapfen aber etwa demselben Werte entspricht, so geht daraus hervor, daß zwei deutlich zu unterscheidende Punkte die Entfernung des Durchmessers von mindestens einem Zapfen haben müssen.

Die Entfernung zweier Punkte, die noch voneinander getrennt gesehen werden, wird durch die Größe ihres Gesichts- oder Sehwinkels bestimmt (siehe Fig. 10). Er wird begrenzt durch zwei von den Endpunkten eines Gegenstandes durch den optischen Mittelpunkt, den Knotenpunkt, des Auges gehend gedachte Linien und hängt daher sowohl von der Entfernung des Gegenstandes vom Auge, als auch von der eigenen Größe des Gegenstandes ab. Er wird kleiner mit zunehmender Entfernung des Gegenstandes vom Auge, was bei kleinen Objekten schon in geringeren Entfernungen der Fall sein wird als bei größeren.

Da die Erfahrung gelehrt hat, daß zwei unter einem Sehwinkel von ungefähr einer Minute erscheinende Punkte von einem normalsichtigen Auge bei guter Beleuchtung stets noch deutlich unterschieden werden, so hat man diesen Winkel als Einheit der Sehschärfe

Fig. 11. Probebuchstabe, Zahl und Figuren zur Prüfung der Sehschärfe.

festgelegt und die kleinsten Linien und einzelnen Quadrate der in sie eingezeichneten lateinischen Buchstaben, Zahlen oder Figuren, mit denen man die Prüfung des Sehvermögens allgemein vorzunehmen pflegt, so angeordnet, daß sie bei guter Tagesbeleuchtung in bestimmter Entfernung unter einem Gesichtswinkel von 1 Minute erscheinen (siehe Fig. 11). Der ganze Buchstabe usw. erscheint alsdann unter einem Gesichtswinkel von 5 Minuten. Eine über den einzelnen Probebuchstaben usw. angebrachte Zahl gibt entweder, wie bei dem Buchstaben *T* der Figur die Entfernung in Metern an, in welcher dieselben bei normalem Sehvermögen noch deutlich erkannt werden müssen, oder aber direkt die gefundene Sehschärfe in Gestalt einer Dezimalzahl, wenn die betreffende Sehprobe in 5 m Entfernung gelesen wird. Da es sich hierbei nur um die Ermittelung eines Durchschnittswertes der innerhalb gewisser Grenzen schwankenden normalen Sehleistung handelt, so darf man nicht erstaunt sein, zumal bei jugendlichen oder durch Beruf usw. an weite Fernsichten gewöhnten und geübten Individuen nicht selten Werte zu finden, die den genannten bis um das Doppelte und mehr übertreffen.

Der Wert der Sehleistung wird durch einen Bruch ausgedrückt, dessen Nenner die zugrunde gelegte Entfernung, für gewöhnlich 6 (oder auch 5) m, und dessen Zähler diejenige Entfernung angibt, in der der Buchstabe tatsächlich noch eben ohne Schwierigkeit vom Prüfling erkannt wird. S (Sehleistung) = $^1/_6$ würde also bedeuten, daß ein Buchstabe, dessen kleinste Quadrate und Linien noch in einer Entfernung von 6 m vom Normalsichtigen erkannt werden müßten, tatsächlich nur erst in einer solchen von 1 m erkannt wird. In diesem Falle wäre also die Sehleistung auf $^1/_6$ der normalen herabgesetzt, die $^6/_6$ oder 1 beträgt.

Das Sehvermögen ist in hohem Maße von der Stärke der Beleuchtung abhängig Es ist am höchsten bei geichmäßig hellem Tageslicht und nimmt bei herabgesetzter Beleuchtung entsprechend ab. Auch bei gleich günstigen Beleuchtungsverhältnissen ist das Sehvermögen in den peripheren Teilen der Netzhaut viel geringer als in den zentralen, und wird um so geringer, je weiter nach außen die Abbildung des Gegenstandes auf der Netzhaut zustande kommt.

Unter Sehleistung versteht man das Sehvermögen ohne den Ausgleich etwa bestehender Brechungsfehler (siehe weiter unten), während man als Sehschärfe das Sehvermögen mit korrigierenden, d. h. die Sehleistung verbessernden Gläsern bezeichnet.

Kurz- und Übersichtigkeit. Wir haben in den vorstehenden Ausführungen über das optische System des Auges immer nur von dem Sehen der Normalsichtigen gesprochen, diesen Begriff stets als durch ein normales Verhalten des Brechungszustandes des Auges bedingt hingestellt und den normalen Brechungszustand, den man auch als Emmetropie bezeichnet, dahin charakterisiert, daß bei ihm die Netzhaut in der Brennweite des brechenden Systems gelegen sei und daher von entfernten Gegenständen scharfe Bilder erhielte. Von dieser Lage kommen indes Abweichungen vor, die zu einer Beeinträchtigung des deutlichen Sehens führen, welche zwar nicht als durch irgendwelche vorübergehende oder dauernde krankhafte Veränderungen bedingt, wohl aber als Ausdruck einer fehlerhaften Anlage anzusehen ist. Diese ist zurückzuführen auf Abweichungen im optischen und anatomischen Bau des Auges, die es bewirken, daß der Vereinigungspunkt parallel

auffallender Strahlen, auch Bildpunkt genannt, anstatt wie normal in die Ebene der Netzhaut zu fallen, vor oder hinter diese zu liegen kommt, trotzdem der Akkommodationsmechanismus fehlerlos arbeitet (siehe Fig. 12). In beiden Fällen kann kein scharfes

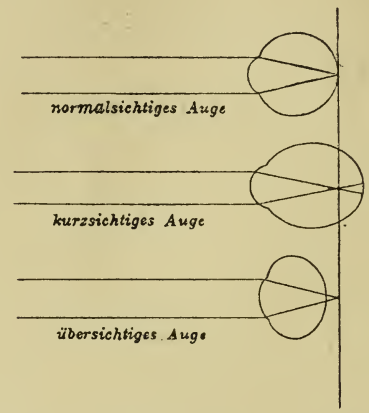


Fig. 12. Optischer Bau des Auges.

Bild auf der Netzhaut entstehen, vielmehr werden anstatt dessen Zerstreuungskreise auf ihr entworfen und die Folge ist ein mehr oder weniger undeutliches und verschwommenes Sehen in die Ferne.

Treffen sich die Strahlen bereits vor der Netzhaut, ist also die Augenachse zu lang, so haben wir es mit dem kurzsichtigen Auge (siehe Fig. 13) zu tun; finden die Strahlen ihren Vereinigungs-

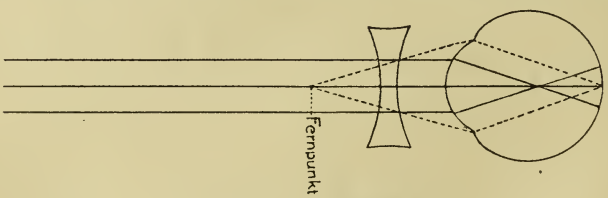


Fig. 13. Kurzsichtigkeit.

oder Bildpunkt erst hinter der Netzhaut, wie es bei einem verhältnismäßig zu kurz gebauten Auge der Fall ist, so haben wir ein übersichtiges Auge vor uns (siehe Fig. 14). Diese beiden Zustände der Kurzsichtigkeit (Myopie) und Übersichtigkeit (Hypermetropie oder Hyperopie) stellen daher

Abweichungen vom normalen Brechungszustand (Refraktion) des Auges dar, der sich aus der Gesamtwirkung des bilderzeugenden (die brechenden Medien) und des bildaufnehmenden Apparates (die Netzhaut) zusammensetzt. Das kurzsichtige Auge hat infolge seines Baues eine zu starke, das übersichtige Auge eine zu schwache Lichtbrechung.

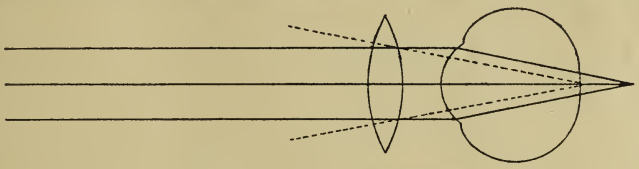


Fig. 14. Übersichtigkeit.

Man ist nun bekanntermaßen imstande, derartigen Brechungsfehlern, Refraktionsanomalien, wie man diese Abweichungen bezeichnet, eine optische Verbesserung (Korrektion) dadurch angedeihen zu lassen und Normalsichtigkeit zu erzielen, daß man solche Augen mit einem künstlichen Linsensystem in Gestalt von Brillengläsern versieht. Und zwar vollzieht sich die optische Korrektion beim übersichtigen Auge mittels Sammel- oder Konvex-

Fig. 15. Konvexlinsen.

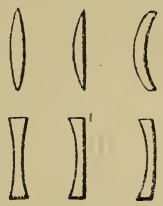


Fig. 16. Konkavlinsen.

linsen (Plusgläser) (siehe Fig. 15), beim kurzsichtigen durch Zerstreuungs- oder Konkavlinsen (Minusgläser) (s. Fig. 16). Die Wirkung besteht im ersteren Falle in einer Erhöhung, im zweiten Falle in einer Verminderung der Brechkraft des optischen Systems des Auges. Infolge ihrer Wirkung werden nunmehr die Zerstreuungskreise auf der Netzhaut beseitigt, der Bildpunkt fällt, wie beim normalen Auge, auf die Netzhaut und es wird deutliches, scharfes Sehen erzielt. Die die Brechkraft des Auges erhöhende Wirkung der Konvexlinsen, die wir zur Korrektion der Übersichtigkeit benutzen, erinnert uns an die Be-

sprechung des Akkommodationsmechanismus, dessen Funktion ja eine ähnliche Wirkung ausübt. Es ist ohne weiteres verständlich, daß ein übersichtiges Auge zu seiner Einstellung für die Nähe ein größeres Maß an eigener Akkommodationsleistung aufbringen muß als ein normales oder gar ein kurzsichtiges. Daher kommt es beim Übersichtigen infolge übermäßiger Inanspruchnahme des Einstellungsmechanismus beim Sehen in der Nähe, z. B. beim Lesen, ähnlich wie beim Nahesehen des Alterssichtigen, zu einer vorzeitigen Ermüdung des Auges. In beiden Fällen werden die Beschwerden des mangelhaften Sehens durch die Korrektion mit dem Grade der Über- bzw. Alterssichtigkeit entsprechenden Konvexgläsern ausgeglichen.

Beim Kurzsichtigen liegen die Verhältnisse umgekehrt. Er klagt weniger über mangelhaftes Sehen in der Nähe wie der Übersichtige, sondern über geringes Sehvermögen in größeren Entfernungen. Bei ihm gilt es daher nicht, die Brechkraft seines optischen Systems zu erhöhen, sondern vielmehr herabzusetzen, was durch entsprechende Brillenkorrektion mittels passender Konkavgläser geschieht. Dadurch werden die parallel, also aus der Ferne ins Auge fallenden Strahlen, die sich sonst schon vor der Netzhaut zu ihrem Brennpunkt vereinigen, so weit zerstreut, daß sie aus dem Fernpunkt des kurzsichtigen Auges zu kommen scheinen und daß die Vereinigung der Strahlen erst auf der Netzhaut zustandekommt: Der Fernpunkt des Auges, nämlich, den wir als die Stelle der Entfernung kennen lernten, bis zu welcher ein Punkt dem Auge angenähert sein muß, um gerade deutlich erkannt zu werden, liegt beim kurzsichtigen Auge näher am Auge als beim Normalsichtigen, und zwar um so näher, je größer die Kurzsichtigkeit ist. Um so stärker muß dann auch die Konkavlinse gewölbt (hohlgeschliffen) sein, um den Fernpunkt des kurzsichtigen Auges so weit wie beim normalen, d. h. bis in die Unendlichkeit herauszurücken. Als Grad der Kurz-oder Übersichtigkeit bezeichnet man die brechende Kraft derjenigen Linse, welche notwendig ist, um das Auge normalsichtig zu machen. Der Brennpunkt dieser Linse fällt mit dem Fernpunkt des Auges zusammen und der Grad der Kurz- oder Übersichtigkeit wird durch den reziproken Wert des Fernpunktabstandes vom Auge ausgedrückt.

Die Ursache der Kurzsichtigkeit, die sich gewöhnlich erst während der Schuljahre bemerkbar macht und deren Häufigkeit und Neigung

zur Zunahme im heranwachsenden Alter bekannt ist, liegt, wie schon angedeutet, zumeist im anatomischen Bau des Auges begründet, dessen Längsdurchmesser einige Millimeter mehr als derjenige des normalsichtigen Auges beträgt und daher nicht selten, zumal bei höheren Graden der Kurzsichtigkeit infolge seines langgestreckteren Baues stärker aus der Augenhöhle hervortritt („Glotzauge"). Beim übersichtigen Auge, dessen Zustand angeboren ist und, abgesehen von dem entsprechend früheren Eintritt der Alterssichtigkeit, das Leben hindurch unverändert bleibt, ist das Umgekehrte der Fall; der Längsdurchmesser ist um einige Millimeter kleiner als beim normalen; das Auge ist verhältnismäßig zu kurz. Es ist daher in beiden Fällen die von der Regel abweichende Länge der Augenachse, welche die fehlerhafte Lage des Brennpunktes vor oder hinter der Netzhautebene zur Folge hat.

Man hört oft von einer Besserung der Kurzsichtigkeit im höheren Lebensalter sprechen. Sie ist nur eine scheinbare und wird dadurch vorgetäuscht, daß die Alterssichtigkeit sich beim Kurzsichtigen, wenn überhaupt, nur sehr wenig und verhältnismäßig spät bemerkbar macht. Der Brechungszustand seines Auges erlaubt es ihm, auch ohne oder mit nur geringer Inanspruchnahme seiner Akkommodation scharf in der Nähe zu sehen, daher empfindet er den Verlust der Akkommodation im Alter viel weniger als der Normalsichtige und kann unter Umständen einer Konvexbrille, die für den alternden Normalsichtigen zur Notwendigkeit wird, gänzlich entraten, mindestens aber ihrer erst viel später als dieser benötigen.

Die Alterssichtigkeit (Presbyopie). Nicht zu verwechseln mit der Übersichtigkeit, in ihren Erscheinungen dieser allerdings nicht unähnlich, ist die bereits mehrfach erwähnte Alterssichtigkeit, im Volke vielfach, wenn auch nicht ganz richtig Weitsichtigkeit genannt. Sie tritt als eine Folge der von Jugend an zunehmenden Einbuße der Linsenelastizität ein, die sich bei der Nahbeschäftigung des sonst Normalsichtigen im Alter von 40 bis 45 Jahren dadurch bemerkbar macht, daß die Zunahme der Linsenbrechbarkeit nicht mehr ausreicht, um in der üblichen Entfernung von $^1/_3$ m feineres Sehen, z. B. Lesen zu ermöglichen. Natürlich macht sich dieser Zustand beim Kurz-

sichtigen entsprechend dem Grade seiner Kurzsichtigkeit später, beim Übersichtigen früher geltend. Daher hört man auch oft die Ansicht äußern, die kurzsichtigen Augen würden im Alter besser. Dies ist natürlich nur so zu verstehen, daß der Kurzsichtige im höheren Alter für die Nähe auf sein bisheriges Glas verzichten kann, ohne daß sich aber deshalb etwas an seinem Sehvermögen für die Ferne ändert. Die mangelnde Brechkraft der alternden Linse findet einen Ersatz durch vorgesetzte Sammellinsen (Konvexbrillen), die mit den Jahren in zunehmender Stärke gewählt werden müssen.

Stabsichtigkeit (A s t i g m a t i s m u s). Der Vollständigkeit halber ist schließlich noch eines ebenfalls angeborenen, nicht selten vorkommenden Brechungszustandes kurz zu gedenken, bei dem parallel auffallende Strahlen nach ihrer Brechung durch das optische System des Auges niemals in ihrer Gesamtheit eine Vereinigung in e i n e m Punkte am g l e i c h e n Ort finden. Dieses völlige Fehlen eines gemeinschaftlichen Brennpunktes tritt dann ein, wenn die Wölbung der brechenden Medien der Hornhaut (oder auch der Linse) unregelmäßig ist, ein Zustand, den man als (H o r n h a u t - oder L i n s e n -) A s t i g m a t i s m u s (S t a b s i c h t i g k e i t) bezeichnet. Es kommt in solchen Fällen, die sich natürlich auch noch mit Kurz- oder Übersichtigkeit kombinieren können, je nach der Art und dem Grade der Hornhaut- oder Linsenkrümmungsanomalie zu einer r e g e l m ä ß i g e n (stabförmigen) oder u n r e g e l m ä ß i g e n Verzerrung des Bildpunktes auf der Netzhaut, die zu einem besonders charakteristischen, undeutlichen Sehen führt. Der regelmäßige Astigmatismus bedarf zu seiner Korrektion besonderer, und zwar z y l i n d r i s c h geschliffener Brillengläser, die je nach der Mitbeteiligung der Kurz- oder Weitsichtigkeit mit den entsprechenden k u g e l f ö r m i g (s p h ä r i s c h) geschliffenen Gläsern kombiniert werden.

Da die Brechungsverhältnisse beider Augen desselben Individuums verschieden sein können, gilt die Gläserkorrektion eines Auges nicht ohne weiteres auch für das andere, sondern verlangt gesonderte Berücksichtigung jedes einzelnen Auges.

Wie schon bei der Besprechung der Alterssichtigkeit erwähnt wurde, bestimmt sich die Stärke (Brechkraft) der als Brillen verwendeten Konvex- oder Konkavlinsen unter Zugrundelegung des Metersystems

nach ganzen und dazwischengeschalteten halben und viertel Dioptrien (0,25; 0,5; 1,0 D usw.).

Optische Unvollkommenheiten des Auges. Trotz seiner hohen Vollkommenheit weist der optische Apparat des Auges regelmäßig noch einige andere Mängel auf, die zum Auftreten gewisser besonderer Erscheinungen Anlaß geben. Sie rühren teils von der nicht ganz vollkommenen Geradlinigkeit der optischen Augenachse („Zentrierung"), teils von kleinen Unregelmäßigkeiten der Flächen der brechenden Medien (siehe auch Astigmatismus, S. 34), teils davon her, daß die zentral auffallenden Lichtstrahlen weniger stark als die Randstrahlen gebrochen werden. Allerdings wird dieser Mangel, der sonst zu Verzerrung der Netzhautbilder führen würde und als „sphärische Abweichung" bezeichnet wird, durch die Wirkung der die Randstrahlen abblendenden Iris (siehe S. 6) größtenteils beseitigt. Immerhin veranlaßt die durch die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenfarbigen, im Tageslicht enthaltenen Lichtstrahlen bewirkte Farbenzerstreuung („chromatische Abweichung") gelegentlich gewisse Lichterscheinungen, die im Auftreten farbiger Säume um die gesehenen Gegenstände bestehen. Solche Bilder mit farbigen Zerstreuungskreisen und Verzerrungen an den Rändern werden in störendem Maße durch die Glaslinsen vieler künstlicher optischer Instrumente verursacht und bedürfen daher einer besonderen Korrektion zur Vermeidung dieser Unvollkommenheit.

Der Helmholtzsche Augenspiegel. Wenn wir uns an die Durchsichtigkeit der brechenden Medien des Auges erinnern, die den ungehinderten Durchtritt der Lichtstrahlen bis auf die Netzhaut gestatten, so liegt die Frage nahe, ob das Innere des Auges nicht auch dem Blick eines Menschen von außen in dasselbe zugänglich sei. Es ist ja allgemein bekannt, daß wir gelegentlich das Leuchten der Augen bei unseren Haustieren im Halbdunkeln beobachten können, und auch im menschlichen Auge ist solches Aufleuchten nicht unbekannt Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß das ins Auge fallende Licht keineswegs vollständig von dem Pigment der Aderhaut verschluckt wird, sondern, wenn auch nur zu einem sehr geringen Teil, vom Augenhintergrund zurückgeworfen wird und durch die Pupille

nach außen zurückkehrt. Es kann daher einerseits ein Leuchten der Augen niemals im absolut finsteren Raume stattfinden, andererseits muß aber wegen der geringen Menge des reflektierten Lichtes die Umgebung dunkel genug sein, soll überhaupt das Leuchten wahrzunehmen sein. Für gewöhnlich erscheint die Pupille vollkommen schwarz, denn um das vom beobachteten Auge austretende Licht aufzufangen, muß das Auge des Beobachters sich zwischen den leuchtenden Körper und das beleuchtete Auge einschieben, wodurch natürlich das Licht von dem Auge abgeschnitten wird. Um dieser Schwierigkeit zu begegnen und die Erleuchtung des Auges durch größere Lichtmengen, sowie deren Reflexion zu ermöglichen, hat es erst der genialen Erfindung des großen Physikers Helmholtz bedurft, der mit seinem einfachen Augenspiegel die Aufgabe gelöst hat, das Innere des Auges zu erleuchten und seinen Hintergrund dem Auge eines anderen direkt sichtbar zu machen.

Der Helmholtzsche Augenspiegel ist ein kleiner, leicht konkav geschliffener, in der Mitte von einem kleinen Loch durchbohrter und auf der Hinterseite geschwärzter, runder Glasspiegel, den der Beobachter derart zwischen sein eigenes und das zu spiegelnde Auge bringt, daß er durch das Loch des Spiegels in die Pupille des dahinter befindlichen fremden Auges zu schauen versucht, während er gleichzeitig Lichtstrahlen von einer seitlich nahestehenden Leuchtquelle mittels des Spiegels in dieses Auge wirft, die den Hintergrund des Augeninneren treffen und von ihm durch die Pupille wieder zurück nach außen und durch die Spiegelöffnung auch in das Auge des Beobachters geworfen werden. Bei richtiger Haltung des Spiegels und geeigneter Beleuchtung gelingt es, diese Strahlen in die eigene Netzhautgrube fallen zu lassen und dadurch ein Bild von den Teilen des Augeninneren zu gewinnen, von denen die Strahlen reflektiert werden. Hierbei erkennt man aufs deutlichste die rötliche Farbe der Netzhaut mit ihrem feinverzweigten Gefäßsystem, die runde, graurötliche Eintrittsstelle des Sehnervs, weniger deutlich (infolge stärkerer Blendung) die Netzhautgrube mit dem gelben Fleck und endlich die durch die Netzhaut durchscheinenden Teile (Gefäße) der dunkel pigmentierten Aderhaut. Es bedarf keines besonderen Hinweises auf die weittragende Bedeutung, die die Erfindung des Augenspiegels für die moderne Medizin und insbesondere die Augenheilkunde gewonnen hat. Unter ge-

wöhnlichen Verhältnissen ist aber daran festzuhalten, daß trotz der ins Auge fallenden Lichtmengen die Pupille schwarz erscheint und der Augenhintergrund unsichtbar bleibt, indes nicht allein, weil der größte Teil des Lichtes im Augeninneren verschluckt wird und die Bedingungen, unter denen die wenigen reflektierten Lichtstrahlen sichtbar werden können, nur ganz ausnahmsweise ähnlich den bei der Handhabung des Augenspiegels künstlich hervorgerufenen einzutreten pflegen, sondern, weil der Augenhintergrund überhaupt nicht genügend beleuchtet ist, um sichtbar zu werden.

Drittes Kapitel.

Die Energetik des Sehens.

Das Gesichtsfeld. Nicht nur dem Inhalt, sondern auch dem Umfang nach vermittelt uns der Gesichtssinn bei weitem das meiste von alle dem, was uns Menschen in Beziehung zur Außenwelt setzt. Er steht an Wichtigkeit und Bedeutung weit über allen anderen Sinnen. Die Welt des Auges ist die umfassendste und weiteste, die wir mit unseren Sinnen erkennen und begreifen. Zur weiten Sternenwelt mit all ihren Wundern und ihrer Pracht dringt nur das Auge, und wir hätten keine Kunde von ihrem Dasein, wenn nicht das Sehorgan die Fähigkeit besäße, die strahlende Energie des Lichtes wahrzunehmen. Dort erst ist für uns die Welt zu Ende, wo sie wegen der Kleinheit und Ferne der Dinge nicht mehr vom Auge wahrgenommen wird. Weiter verdanken wir dem Sehorgan die genaueste, eingehendste und umfassendste Kenntnis von der unendlichen Mannigfaltigkeit der Dinge, die in und außer uns vorhanden sind, den größten wie den kleinsten, von den unvorstellbar riesenhaften Massen der Gestirne bis zu den kleinsten Lebewesen der Bakterien und den die Organismen zusammensetzenden Zellen, ja den Atomen (Ostwald).

Alles was sich unserem Auge darbietet, erscheint uns, wenn wir versuchen, von der Körperlichkeit des Gesehenen abzusehen, in der Gestalt eines flächenhaften Gebietes, welches wir als das Gesichtsfeld oder Sehfeld bezeichnen. Aber nicht alles, was wir in diesem je nach der Entfernung größeren oder kleineren Gesichtsfeld erblicken, nehmen wir in gleicher Deutlichkeit und Schärfe wahr. Am deutlichsten erscheint uns stets die Mitte des Gesichtsfeldes, und diese Stelle ist es, die wir mittels der Beweglichkeit der Augen „ins Auge fassen", die wir „fixieren". Infolgedessen hat das Sehorgan auch die größte Bedeutung für die Wahrnehmung und Anschauung des Raumes und übertrifft die Lokalisationsfähigkeit

mittels des Gehörs und selbst des Tastsinnes ganz wesentlich. Wenn wir einen Gegenstand genauer betrachten, d. h. ihn fixieren wollen, so bringen wir die Augen in eine solche Stellung, daß die den vorderen und hinteren Augenpol verbindenden optischen Achsen (S e h a c h s e n) beider Augen nach vorn verlängert sich in dem fixierten Gegenstande schneiden. Dann fällt das Bild des Gegenstandes genau auf die in der Mitte der Zentralgrube der Netzhaut am hinteren Augenpole befindlichen Stellen des deutlichsten und schärfsten Sehens beider Augen. Man bezeichnet diese Richtungslinie, welche die Mitte eines äußeren Objektes mit dem Mittelpunkte der Netzhautgrube verbindet, auch als G e s i c h t s l i n i e. Genau genommen, fällt jedoch die Gesichtslinie nicht mit der optischen Achse des Auges zusammen, sondern bildet mit ihr einen kleinen Winkel, den sogenannten W i n k e l α. Da die richtige Lokalisierung der Objekte im Gesichtsfeld von der Lage der Bilder auf der Netzhaut abhängig ist, wird, um diese zu ermöglichen, durch die Aufmerksamkeit und das Bestreben, den Gegenstand möglichst deutlich zu sehen, mittels der kombinierten Tätigkeit der Augenmuskeln die entsprechende Blickbewegung, die Fixierung, ausgelöst, um das gesuchte Ziel, das Bild des Gegenstandes, auf die Netzhautgruben zu bringen. In diesem Bestreben verhalten sich beide Augen, unterstützt durch die große Beweglichkeit der Augäpfel und die koordinierte Tätigkeit ihrer Augenmuskeln, wie e i n Organ: daher fließen die Willensantriebe zu den Blickbewegungen beiden Augen gleichmäßig zu, einerlei, ob, wie gewöhnlich, beide Augen an dem Sehakt beteiligt sind oder nur eins, wie z. B. bei Verschluß des anderen. Wird mit beiden Augen den Willensimpulsen entsprechend richtig fixiert, so fallen die Bildpunkte auf sogenannte „korrespondierende" oder „identische" Netzhautstellen und die Eindrücke beider Augen werden an dieselbe Stelle im Raum verlegt — b i n o k u l a r e s E i n f a c h s e h e n. Solche identische Punkte sind natürlich in erster Linie die Mittelpunkte der beiden Netzhautgruben, außerdem aber alle in der Netzhautgrube und ihr zunächst gelegenen Punkte, welche von den Mittelpunkten in gleicher Richtung gleich weit entfernt sind. Nur ein solches Sehen ermöglicht, wie wir noch näher zu erörtern haben (siehe S. 61), wirklich körperliches, stereoskopisches Sehen, worunter man die Erkennung der Tiefendimension versteht.

Die der Netzhautgrube benachbarten Stellen der Netzhaut sind zwar auch noch gegen Licht empfindlich, verlieren aber mit zunehmender Entfernung von ihr insofern an Lichtempfindlichkeit, als die von ihnen hervorgerufenen Gesichtsempfindungen hinsichtlich ihrer Schärfe weniger deutlich sind, und zwar in einem um so höheren Grade, je weiter abseits von der Zentralgrube die betreffenden Netzhautstellen liegen. Sie vermitteln das indirekte Sehen und erweitern dadurch unser Gesichtsfeld, d. h. den gesamten Raum, der uns über das Fixierte hinaus, wenn auch nicht in gleicher Schärfe und Deutlichkeit sichtbar wird. Wenn auch das indirekte Sehen die Form, Umrisse und Einzelheiten nicht deutlich wiedergibt, so gibt es uns doch eine gute Vorstellung von dem Raume in der Nachbarschaft des direkt betrachteten Gegenstandes und ermöglicht es, uns sowohl über die Änderungen und Bewegungen, die sich im ganzen Bereich des Gesichtsfeldes abspielen, als auch über die bei unseren eigenen Bewegungen auftauchenden und zu vermeidenden Hindernisse zu orientieren. Wir können uns davon gut überzeugen, wenn wir bei geschlossenem einem Auge das indirekte Sehen des anderen gleichzeitig dadurch ausschließen, daß wir es durch eine Röhre blicken lassen. Wir sehen jetzt zwar das direkt betrachtete Objekt noch ganz wie vorher, aber was sich sonst im Gesichtsfeld befand, ist nun verschwunden und unsere Orientierung beim Gehen usw. ganz beträchtlich erschwert.

Die Ausdehnung des Gesichtsfeldes nach den verschiedenen Richtungen hin kann mittels besonderer Apparate (Gesichtsfeldmesser oder Perimeter) festgestellt und gemessen werden. Das Gesichtsfeld sehen wir fortwährend, solange Lichtreize von ihm ausgehen und die Netzhaut erregen. Hört die Erregung auf infolge Fortfalls der Lichtreize, wie in der Dunkelheit oder bei geschlossenen Augen, so erscheint das Gesichtsfeld schwarz.

Man sollte voraussetzen, daß wir beim Sehen mit nur einem Auge die Stelle des blinden Fleckes, als den wir die runde, netzhautfreie Eintrittsstelle des nur den Lichtreiz weiterleitenden, aber wegen seines Mangels an Stäbchen und Zapfen selbst gegen Licht unempfindlichen Sehnerven in der Nähe des hinteren Augenpols kennen lernten, auch als Ausfall der Gesichtsempfindung bzw. als entsprechend dunkle Lücke im Gesichtsfelde wahrnehmen müßten. Das ist aber keineswegs der Fall, erstens, weil sie außerhalb der Stelle des deut-

lichen „direkten“ Sehens liegt und zweitens, weil wir uns daran gewöhnt haben, diese Lücke einfach zu übersehen, indem in unserer Vorstellung die von der Umgebung des blinden Fleckes wahrgenommenen Stellen unbewußt aneinanderrücken und die Lücke ausfüllen. Da aber die beiden blinden Flecke nicht auf korrespondierenden Netzhautstellen liegen, so kommt beim Sehen mit beiden Augen als Ersatz des Ausfalles auf der einen Netzhaut ein Lichteindruck auf der anderen zustande und es ergänzt so das eine Auge die Gesichtsfeldlücke des anderen. Indes läßt sich ihr Vorhandensein durch einen einfachen Versuch („Mariottescher Versuch“) nachweisen, indem man auf diese Stelle das Bild eines Gegenstandes folgendermaßen fallen läßt:

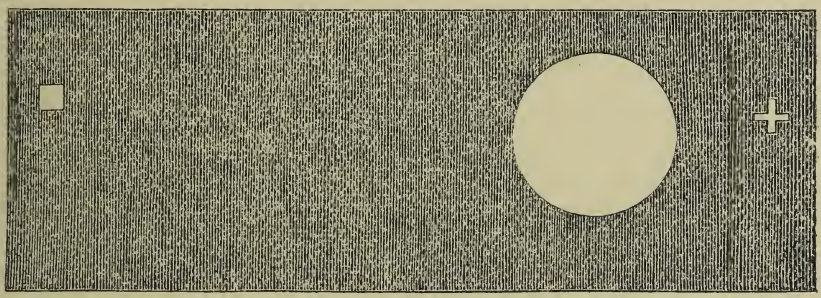


Fig. 17.

Fixiert man das kleine weiße Quadrat (siehe Fig. 17) mit dem rechten Auge bei geschlossenem linken aus einer Entfernung von etwa 25 cm, so wird der weiße Kreis unsichtbar, während das Kreuz sichtbar bleibt. In anderer Entfernung kommt der Kreis wieder zur Erscheinung. Um für jedes Auge genau die richtige Entfernung zu finden, nähert man das Buch aus etwas größerer Entfernung allmählich dem Auge. Dann verschwindet der bis dahin im indirekten Gesichtsfelde sichtbar gebliebene weiße Kreis und läßt den schwarzen Grund lückenlos erscheinen, um bei weiterer Annäherung wieder sichtbar zu werden. Im Moment des Verschwindens fiel sein Bild gerade auf die „blinde“ Stelle des Sehnerveneintritts. Von dem Umfange des blinden Fleckes kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man bedenkt, daß er in einer Entfernung von knapp zwei Meter den Kopf eines erwachsenen Menschen unsichtbar machen kann.

Die Wirkung des Lichtes im Auge. Nachdem die Lichtstrahlen, aus welchen die Bilder zusammengesetzt sind, infolge der Wirkung des optischen Systems der brechenden Medien ihren Vereinigungspunkt in der Netzhaut gefunden haben, werden sie hier als in ihrem nervösen Empfangsorgan in Nervenerregung umgesetzt. Es handelt sich demnach um die Umwandlung einer Art Energie — der elektromagnetischen Schwingungen des Lichtes (siehe S. 83) — in eine andere, nämlich in die Nervenerregung, welche als solche innerhalb der für ihre Weiterleitung vorgesehenen Nervenfasern durch den Sehnerv bis zum Gehirn fortgeleitet wird. Die Umwandlung der Lichtschwingungen in Nervenerregung geht in den Stäbchen und Zapfen (Sehzellen) vor sich, wo es aller Wahrscheinlichkeit nach die Außenglieder der Zapfen sind, die als die eigentlichen Angriffsstellen, d. h. als der optische Aufnahmeapparat für die Lichtreize anzusehen sind. Sie beruht sowohl auf chemischen wie physikalischen Veränderungen: Die chemischen Prozesse äußern sich in einer Verwandlung des in den Außengliedern der Stäbchen vorhandenen Sehpurpurs in eine farblose Substanz (siehe oben). Indes spielen sich wahrscheinlich auch noch bisher unbekannte chemische Umwandlungsprozesse anderer ähnlicher „Sehsubstanzen" in der Netzhaut ab. Man stellt sich vor, daß die in den Stäbchen und Zapfen vorhandenen und vermuteten Stoffe unter dem Einflusse der Reize, d. h. der Lichtschwingungen chemisch zersetzt werden, wie es bei dem unter der Lichteinwirkung zerstörten und sich bleichenden, im Dunklen aber sich stets wieder erneuernden Sehpurpur nachgewiesenermaßen der Fall ist. Bei diesem Zersetzungsprozeß produzieren sie neue Stoffe, die Sehsubstanzen, die im Moment ihres Entstehens als Reize auf die Sehnervenendigungen wirken; diese Reize werden durch die Sehnervenfasern zu den Sehzentren im Gehirn weitergeleitet. Der Sehpurpur allein kann indes das direkte Sehen nur in untergeordnetem Maße beeinflussen, da er nur in den Stäbchen vorkommt, in den Zapfen aber und daher auch in der das scharfe und direkte Sehen vermittelnden Netzhautgrube noch nicht nachgewiesen ist. Wahrscheinlich steht mit der Regeneration des Sehpurpurs vielmehr die Anpassung des Auges an verschiedene Lichtstärken (siehe S. 55), sowie die davon abhängige Zunahme des Lichtsinnes (siehe S. 56) beim Aufenthalt in der Dunkelheit in Zusammenhang.

Die physikalischen Einwirkungen bestehen in positiven und nega-

tiven Schwankungsänderungen der photoelektromotorischen Ströme, die in den Sehzellen der hinteren Netzhauthälfte bei Belichtung und Beschattung entstehen, die nervösen Elemente erregen und so zum Gehirn gelangen. Ferner in gewissen Bewegungserscheinungen, nämlich Verkürzungen und Verdickungen in den Zellen des Pigmentepithels der Netzhaut und in den Stäbchen und Zapfeninnengliedern, die ebenfalls unter dem Einfluß des Lichtreizes und nach dem Lichte hin zustandekommen. Die photoelektrischen Reaktionsschwankungen sind wahrscheinlich Begleiterscheinungen der durch den Lichtreiz in den lichtempfindlichen Elementen der Netzhaut ausgelösten chemischen Veränderungen. Doch sind sie dauernd, also auch in der Ruhe vorhanden, erfahren aber eine Zunahme bei plötzlicher Belichtung und bei Beschattung. Ihre Stärke ist am größten bei den von unseren Augen am hellsten empfundenen Lichtreizen.

Da der das deutlichste, das direkte Sehen vermittelnde gelbe Fleck mit seiner Netzhautgrube am hinteren Augenpol fast ausschließlich Zapfen enthält, so spielen sich diese chemischen und physikalischen Prozesse auch in der Hauptsache in den Zapfen ab. Die von den entfernteren Teilen des Gesichtsfeldes als der Gesamtheit aller gleichzeitig wahrgenommenen Punkte der Außenwelt kommenden Lichtstrahlen, deren Abbildungsstellen mehr außerhalb von der Netzhautmitte fallen und die deshalb weniger scharf erscheinen (indirektes Sehen), finden ihre Reizumwandlung zunehmend auch in den Stäbchen, da die Zapfen mit wachsender Entfernung von der Netzhautgrube auf Kosten jener an Zahl immer geringer werden, bis sie schließlich ganz verschwinden. Die durch das Licht in den Enden der Zapfen und Stäbchen erzeugten Erregungen haben noch drei verschiedene in den Netzhautschichten gelegene Ganglienzellensysteme zu passieren, ehe sie mittels des Sehnervs dem Gehirn zugeleitet werden. Die Verknüpfung dieser drei Ganglienzellen, auch Neurone genannt, erfolgt entweder durch einfachen, direkten Kontakt der Zellen oder durch feine, von den Ganglienzellen aus sich baumartig verästelnde nervöse Verbindungsfäserchen.

Übrigens werden Netzhaut und Sehnerv als die nervösen Endorgane des Auges nicht nur durch Einwirkungen des Lichtes, das den „adäquaten" Reiz der Netzhaut darstellt, in Erregung versetzt, sondern

auch durch allgemeine mechanische oder elektrische Nervenreizung des Auges. Bei letzterer z. B. findet eine blitzartige momentane Erhellung des Gesichtsfeldes statt, und das Gleiche wird bei einem das Auge treffenden Stoße empfunden. Indes gehören diese Erscheinungen, zu denen auch das bekannte „Flimmern", das „Schwarzwerden" sowie das „Grün- und Blauwerden vor den Augen" im Beginn von Ohnmachten und bei bleichsüchtigen Personen gehört, als Folge plötzlich auftretender Zirkulationsveränderungen im Gehirn in das Gebiet der Pathologie des Sehorgans. Das Gleiche gilt von den als „Lichtscheu" auftretenden Blendungserscheinungen bei gewissen Augenerkrankungen und bei übermäßig starkem Lichteinfall, z. B. beim Sehen in die Sonne, auf große Schneefelder (Schneeblindheit) oder in ein intensives elektrisches Bogenlicht (siehe S. 241 ff.). Auch die phantastischen Gesichtserscheinungen, Halluzinationen usw., die durch andere innere, auf die lichtempfindenden Elemente wirkende Ursachen, wie im Fieber, bei Geistesrkankheiten und Vergiftungen, aber auch schon im gewöhnlichen Traumzustande hervorgerufen werden können, gehören hierher. Normalerweise entstehen ferner im Dunkeln, also ebenfalls ohne direkte Einwirkung des Lichtes eine Reihe eigenartiger Gesichtswahrnehmungen von großer und wechselvoller Mannigfaltigkeit, die sich teils als nebelhaft wallende schleierartige Gebilde, teils als flächenhaft ornamenten- und tapetenmusterartige Erscheinungen bunter oder unbunter Natur in allen Helligkeits- und Farbenübergängen äußern und hauptsächlich bei der Nachtruhe kurz vor oder während des Einschlafens einzutreten pflegen. Dieser ihrer Erscheinung entsprechend bezeichnet man sie als Lichtnebelgewoge, Lichtchaos, Lichtpunktgewimmel, nennt sie zusammenfassend „subjektive optische Phänomene" und faßt sie als durch „Eigenlichterscheinungen" der Netzhaut entstanden auf. Als solche führt man sie auf innere Vorgänge zurück, wie die Blutzirkulation, die Wärmebewegungen usw., durch welche schwache Erregungen des nervösen Apparates hervorgerufen werden. Jedenfalls zeigen diese irgendwie in uns selbst zustande kommenden Gesichtswahrnehmungen keine unmittelbaren Beziehungen zu „äußeren" Lichtreizen und erscheinen weder als Gedächtnisbilder vorausgegangener Vorstellungen, noch als Begleit- oder Folgezustände irgendwelcher krankhafter Gehirnerscheinungen. Im all-

gemeinen bleiben sie un- oder unterbewußt und treten erst in unserem Bewußtsein auf, wenn wir ihnen unsere besondere Aufmerksamkeit zuwenden. Sie sind wohl zu trennen von den ähnlichen während des Schlafes als Inhalte von Traumbildern auftretenden oder den in Fieberphantasien vorkommenden und als „phantastische Gesichtswahrnehmungen" bezeichneten Erscheinungen, die in der gesteigerten Form von „Gesichtshalluzinationen" auf krankhafte Hirnvorgänge zurückzuführen sind.

Eine weitere Reihe ähnlicher bunter und unbunter chaotischer Licht- bzw. Helligkeitserscheinungen, zuweilen aber auch scharf begrenzter und wohlcharakterisierter Bilder von momentaner Dauer treten als sog. „Druckphosphene" nach Reiz des geschlossenen oder verdunkelten Auges durch mäßigen Druck von vorn oder Reiben des Auges auf und werden als mehr oder weniger deutlich gesehene Formen von Netzhautbestandteilen aufgefaßt. Wieder andere entstehen als „Nachbilder" auf die vorausgegangene Darbietung kurz dauernder starker Lichtreize bei sonstiger Dunkelheit (entoptische Erscheinungen). Abgesehen von diesen letzteren ist das Gemeinsame all der genannten Gesichtswahrnehmungen, daß sie einer gewissen gegenständlichen Bestimmtheit ermangeln und nicht durch äußere von Gegenständen der Umwelt herrührende objektive, sondern durch innere im Beobachter selbst liegende subjektive Ursachen zustande kommen. Trotzdem werden sie ähnlich wie die durch äußere objektive Lichtreize vermittelten in das Gesichtsfeld hineinverlegt; es werden also subjektive Empfindungen durch Projektion ins Gesichtsfeld „objektiviert".

Die Vorgänge im Gehirn.[1]) Die im Sehnerv vereinigten Nervenfasern endigen, wie wir sahen, nach ihrem teilweisen Austausch in der Sehnervenkreuzung und nach ihrem weiteren Verlauf im Gehirn beiderseits in den Ganglienzellen der Hirnrinde im Bereich der Hinterhauptlappen innerhalb eines Bezirkes, den man das optische Rindenfeld oder die Sehsphäre (Sehzentrum) nennt. Innerhalb der Ganglienzellen wird die Erregung der Sehnervenfasern durch die Lichtreize in die entsprechende Empfindung als Sinneswahrnehmung umgesetzt, so daß hier das Gesehene als spezifische Gesichts-

[1]) Z. T. nach Ebbinghaus, Grundzüge der Psychologie.

wahrnehmung zum Bewußtsein kommt. Auf diese Weise beteiligt sich das Sehorgan mit seiner spezifischen auf die Verarbeitung der Lichtreize gerichteten Energie in hervorragendem Maße an dem großen Endzweck des gesamten nervösen Gewebes, um die durch äußere Einwirkungen erregbaren Organe des Körpers mit allen seinen Bewegungswerkzeugen in möglichst enge und vielseitige Verbindungen zu bringen und so den gesamten Organismus mit dem Reichtum seiner den verschiedensten Zwecken dienenden Teile zu einem einheitlichen Ganzen zusammenzuschließen.

Die Beurteilung des objektiv Gesehenen und die durch die Zentralorgane des Sehens von den äußeren Objekten erlangte Kenntnis entsteht aus der Kombination der Lichtempfindungen mit Vorstellungen, Erinnerungen und anderen Empfindungen, die den Inhalt der bewußt gewordenen Gesichtswahrnehmungen bilden. Es sind nämlich diese Vorgänge des Bewußtwerdens der Gesichtsempfindungen, wie sie von der Netzhaut aufgenommen und durch den Sehnerven dem Gehirn zugeleitet werden, um in den Ganglienzellen des Sehzentrums zu Gesichtswahrnehmungen verarbeitet zu werden, innig verknüpft mit Erinnerungsvorgängen, die gleichzeitig in benachbarten Bezirken der Gehirnrinde, im optischen Erinnerungsfeld, durch die Gesichtswahrnehmungen hervorgerufen werden. Hier sind die Erinnerungsbilder für das im Leben Erschaute niedergelegt. Was im Sehzentrum zur Wahrnehmung gelangt ist, erzeugt erst eine begriffliche Vorstellung, wenn es die entsprechenden Erinnerungsbilder im optischen Erinnerungsfeld erweckt. Hier also wird das wahrgenommene Gesichtsbild erst seelisch verarbeitet. Ist es zerstört oder sind die Leitungsbahnen zwischen ihm und dem benachbarten Sehzentrum unterbrochen, so sieht man die Objekte der Außenwelt, ohne sie begrifflich zu erfassen und ohne sich der Bedeutung des Erschauten erinnern zu können. Man sieht nur noch „mit den Augen", aber nicht mehr „mit dem Gehirn", d. h. die Betroffenen können das an und für sich richtig Gesehene, das sie unter Umständen auch richtig nachzuzeichnen vermögen, weder richtig benennen, noch verstehen sie, wozu es dient, wenn ihnen nicht ein anderer Sinn, z. B. der Tastsinn, zu Hilfe kommt, ein Zustand, der als „Seelenblindheit" eine sinngemäße Bezeichnung gefunden hat.

Infolge der seelischen Verarbeitung im Gehirn werden auch die

einzelnen sinnlich empfundenen Gesichtseindrücke nicht nach rein äußerlichen Merkmalen unterschieden, sondern sie kommen in einer gewissen Sonderung und Gruppierung zur bewußten Wahrnehmung, je nach der Zusammengehörigkeit der Dinge unabhängig von dem bloßen räumlichen Zusammenhang der Teile dieser Dinge. Die Reizgruppen, die örtlich getrennten wie die räumlich zusammenhängenden, fassen wir zusammen oder sondern sie nach ihrer Zusammengehörigkeit, in der sie mehr oder weniger regelmäßig zusammen vorzukommen pflegen. Auf Grund der bewußten Wahrnehmung erscheinen uns daher infolge des Einflusses der seelischen Tätigkeit der Aufmerksamkeit, des Gedächtnisses und der Übung die gesehenen Dinge in einer ganz anderen Gliederung und Gruppierung, als die bloßen Empfindungsreize bewirken würden.

Übrigens wird von der unendlichen Fülle äußerer Eindrücke, die dem Gehirn durch Vermittlung des Sehorgans zugeführt werden, infolge der seelischen Verarbeitung ein von der Summe der empfangenen Gesichtsempfindungen tatsächlich verschiedenes Endresultat der Einwirkungen bewußt erlebt. Denn die Empfindungen, die die äußeren Reize an und für sich hervorrufen würden, gewinnen infolge des seinen besonderen Gesetzen folgenden Ablaufs der seelischen Funktionen einen ganz besonders bestimmten eigenen Charakter, den wir im Gegensatz zu der sinnlichen Empfindung als die seelische Wahrnehmung bezeichnen. Betrachten wir z. B. die Schrift eines Buches im Spiegel, so wird uns nur das durch die Tätigkeit des Gesichtssinnes hervorgebrachte Ergebnis der Anschauung bewußt, ohne daß sich infolge dieser ungewohnten Anordnung der Einfluß der seelischen Verarbeitung geltend macht, der durch die sonst stattfindende Mitwirkung von Aufmerksamkeit, Gedächtnis und Übung zustande kommt. Was im seelischen Wahrnehmungsakt zum Bewußtsein kommt, ist teils ein Mehr, teils ein Weniger als der rein sinnlichen Empfindung entspricht. Das wiederholt Erschaute und als wichtig und nützlich Haftengebliebene tritt vornehmlich ins Bewußtsein unter unbewußter Zurückdrängung des Unwesentlichen und praktisch Unwichtigen. Dafür wird die jedesmalige Anschauung mit einer Reihe mannigfacher Vorstellungen auf Grund früherer ähnlicher Erfahrungen durchwebt und bereichert, indem man die früheren Erfahrungen in das sinnlich Gegebene es ausdeutend hinein-

denkt und dazu ergänzt. Denn alles Kennen der Dinge und ihrer Eigenschaften, alles Verstehen ihrer Bedeutung und ihres Wesens beruht allein in dem durch die seelische Arbeit geleisteten Hinzudenken der früher bereits durch das Auge und die anderen Sinne von ihnen gewonnenen Eindrücke.

Es bestehen aber noch weitere Beziehungen der Gehirnrinde zum Sehakt. Die Bewegungsantriebe, die durch die bewußt gewordenen Gesichtswahrnehmungen veranlaßt werden, um die Blickrichtungen der Augen zu ändern, werden ebenfalls durch Nervenzentren in der Gehirnrinde vermittelt, die mit den Sehzentren in Verbindung stehen und den Reiz zur Bewegung der Augenmuskeln entstehen lassen. Und darüber hinaus führen in ähnlicher Weise die Gesichtswahrnehmungen zu Impulsen, die durch Vermittlung der entsprechenden, in der Gehirnrinde verstreut lokalisierten Nervenzentren die einzelnen Muskelgruppen der ganzen Körpermuskulatur in willkürliche Bewegungen zu setzen vermögen und uns so zu bewußt handelnden und wandelnden Wesen machen. So setzt uns die Beweglichkeit der Augen instand, ein auf unserem Wege etwa auftauchendes Hindernis durch entsprechende Einstellung der Blickrichtung ins Auge zu fassen, um ihm am besten aus dem Wege zu gehen. Um diese Bewegungen ausführen zu können, muß notwendigerweise das Sehorgan in irgendeiner Form mit der Muskulatur der Augenhöhle und weiter mit derjenigen der Gliedmaßen verknüpft sein. Einerlei, auf welche Sinnesorgane irgendein Reiz wirkt, sie müssen alle in eine Verknüpfung miteinander und mit den Bewegungsorganen usw. treten können, um uns in der Außenwelt zu orientieren und im Kampfe mit ihr zu erhalten.

Die Außenwelt. Die Hinausverlegung der vom inneren Auge gesehenen und empfundenen, in der Gehirnrinde aber erst wahrgenommenen Objekte an diejenige Stelle des Raumes, von der aus die in das Auge fallenden Lichtstrahlen stammen, ihre räumlichen Beziehungen zu allen anderen im Gesichtsfelde erscheinenden Gegenständen hinsichtlich ihrer eigenen Größe, Körperlichkeit, gegenseitigen Entfernung usw. geschehen mittels eines seelischen Aktes, der das Ergebnis von Erfahrungen und Erinnerungen jedes einzelnen Individuums ist, wobei der Weg, den die Lichtstrahlen zum Auge hin genommen haben, gewissermaßen in umgekehrter Richtung zurückgemacht wird. Infolge

dieser Erfahrung verlegen wir die Wahrnehmungen nach außen, und zwar stets in die Verlängerung der Richtungslinien des Netzhautbildes, so daß wir die Objekte trotz ihrer auf der Netzhaut umgekehrt zustandegekommenen Bilder tatsächlich aufrecht sehen. Auf diese Weise führen die sich wiederholenden Gesichtsempfindungen zu bestimmten Vorstellungen von der Existenz, Form, Lage, Helligkeit und Farbe der äußeren im Raume sichtbaren Objekte. Obwohl sie auf jeder Netzhaut je ein Bild zustandekommen lassen und jede dadurch hervorgerufene Erregung den Sehzentren zugeleitet wird, sehen wir die Gegenstände in der Regel nicht doppelt, sondern einfach. Wir können sie aber zur Verdoppelung bringen und künstlich Doppeltsehen erzeugen, wenn wir ein Auge durch seitlichen Druck aus seiner normalen Stellung heraus in die sogenannte Schielstellung bringen. Das Einfachsehen mit beiden Augen beruht darauf, daß das Bild auf bestimmte, genau einander entsprechende und daher zusammengehörige Teile einer jeden Netzhaut im Bereich der Zentralgrube fällt und daß das Bewußtsein gelernt hat, die Empfindungen beider zu einer Vorstellung zu verschmelzen. Solche korrespondierende Stellen der beiden Netzhäute, deren gleichzeitige Erregung zu einer Vorstellung führt und deren Bedeutung für die Erklärung des körperlichen Sehens wir noch kennen lernen werden, bezeichnet man daher auch als identische Netzhautpunkte (s. S. 63), wobei es dahingestellt bleiben kann, ob die Verschmelzung der beiden Netzhautreize zu einem Eindruck das Resultat der Erfahrung und Gewohnheit, also eine erworbene und erlangte, oder als eine auf anatomischen Grundlagen beruhende angeborene Fähigkeit anzusehen ist.

Nun fallen aber bei der verhältnismäßig großen Ausdehnung des Gesichtsfeldes auch eine Anzahl Bilder der nicht direkt fixierten Gegenstände auf mehr oder weniger seitlich von der Netzhautgrube gelegene nicht mehr identische Netzhautpunkte und müßten neben den einfachen Bildern sich als Doppelbilder geltend machen. In Wirklichkeit pflegen wir sie ebenso wie bei der angeborenen oder bereits längere Zeit bestehenden Schielstellung eines Auges zu vernachlässigen, weil die einfach gesehenen Gegenstände, die den stärkeren Eindruck hervorrufen, unsere Aufmerksamkeit in beherrschendem Maße in Anspruch nehmen.

Der Raum. Unser Urteil über die relative Größe gleichweit vom Auge entfernter Gegenstände sowie über die verschiedenen Entfernungen der Gegenstände vom Auge und ihren Wechsel bei Bewegungen hängt ab von dem Bewußtwerden der Größe der Blickbewegungen bei den verschiedenen Fixierungen, vom Umfang und der Lageveränderung der Netzhautbilder bzw. des in Erregung versetzten Netzhautbezirkes, der Schätzung der Sehwinkelgröße und der beanspruchten Akkommodationstätigkeit unter Mitbewertung anderweitig gewonnener Erfahrungen, zumal der mittels des Tastsinns gewonnenen Eindrücke.

Durch alle diese Faktoren wird die ursprüngliche primitive und unvollkommene Raumanschauung des bloßen Auseinanderseins der Dinge zu immer größerer Feinheit und Genauigkeit gesteigert, bis das voll entwickelte Bewußtsein des durchgängigen Zusammenhangs des Raumes erreicht wird. Infolge der Augenbewegungen, die notwendig werden, um von einem Fixationspunkt zum andern überzuspringen, wird das Lageverhältnis und die räumliche Entfernung der Fixationspunkte wie auch die Bewegungsempfindung des Blickes von dem einen Punkt zum anderen bewußt. Aus den unzähligen Wiederholungen dieser Erlebnisse ergeben sich schließlich eindeutige Zuordnungen, Assoziationen, und auf diese Weise erlangen die gesehenen Raumstrecken einen gewissen Bewegungswert und die Bewegungen selbst einen bestimmten optischen Raumwert. Die Bewegungen und die Gesichtsempfindungen assoziieren sich zum Bewußtwerden der Räumlichkeit (s. auch Abschnitt Raumsinn).

Indes kommt es hierbei nicht selten zu Täuschungen mannigfacher Art. Eine der bekanntesten kommt z. B. zustande bei der Schätzung von Bewegungsgeschwindigkeiten anderer Objekte, wenn man selbst sich in einer sich bewegenden Umgebung (Eisenbahn, Schiff) befindet. Von anderen auch als Raumtäuschungen bezeichneten Gesichtstäuschungen seien noch folgende erwähnt: Senkrechte Abstände werden im allgemeinen für größer gehalten als wagerechte, und dementsprechend erscheinen gleichlange Gegenstände länger in senkrechter Stellung als in wagerechter. Bei Betrachtung eines Vierecks erscheinen daher die senkrechten Seiten länger als die wagerechten. Der obere Winkel eines gleichseitigen Dreiecks erscheint spitzer als die beiden anderen. Es geht daraus hervor, daß vergleichende Urteile über senkrechte Entfernungen viel unvoll-

kommener sind als die über wagerechte. In einer genau halbierten Strecke (siehe Fig. 18) erscheint die in sich wieder geteilte Hälfte länger als die ungeteilte. Überhaupt erscheinen uns geteilte Strecken oder Entfernungen stets größer als leere. In Fig. 19 erscheint die gleichlange Strecke *b* kürzer als die Strecke *a*. Parallele Linien (siehe Fig. 20), die von einer Anzahl paralleler Linien schräg geschnitten werden, scheinen nach der Richtung zusammenzulaufen, nach welcher die Querlinien gehen. Über die Ursachen dieser und einer ganzen Reihe ähn-

Fig.18

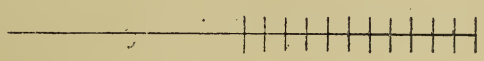


Fig.19

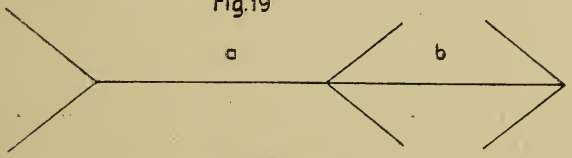
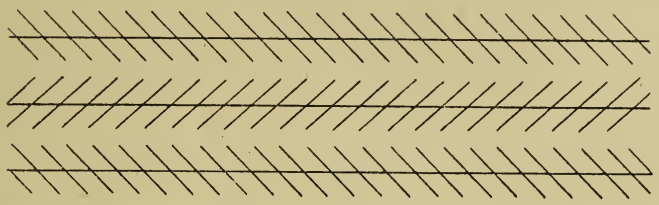


Fig.20



licher Gesichtstäuschungen ist noch wenig bekannt. Man vermutet sie, soweit sie nicht auf Irradiations- (siehe S. 59) und Kontrasterscheinungen (siehe S. 131) zurückzuführen sind, in verschieden gearteten Augenmuskelanstrengungen bei den Blickbewegungen, sowie in dem Wettstreit verschiedener, die Aufmerksamkeit in ungleichem Maße in Anspruch nehmender oder im Gesichtsfeld gewissermaßen miteinander um die Vorherrschaft kämpfender Gesichtseindrücke. Die so häufig vorkommenden Täuschungen über die scheinbare Größe der Gegenstände und ihre Entfernung voneinander sowie von uns selbst sind deshalb von besonderem Interesse, weil sie uns in sinnfälliger Weise die Relativität und Unsicherheit unserer Gesichtsurteile dartun. Die Fähigkeit, über die Größe, Entfernung und Form der im Gesichtsfelde enthaltenen

Gegenstände zu urteilen und sie zu schätzen, bezeichnet man als Augenmaß. Das Urteil über die Größe eines Gegenstandes gründet sich in der Hauptsache auf die Größe des Netzhautbildes. Es kann sich dabei aber nur um die scheinbare Größe handeln, da das Netzhautbild verschieden großer Gegenstände gleichgroß ist, wenn der Abstand vom Auge derart ist, daß sie ihm unter demselben Sehwinkel erscheinen. Um aus der scheinbaren Größe auf die wirkliche schließen zu können, muß uns daher die Entfernung bekannt sein, und umgekehrt können wir auf die Entfernung eines Gegenstandes von unserem Auge schließen, wenn uns seine wirkliche Größe bekannt ist. Außerdem werden alle unsere Urteile durch das Bewußtwerden der Größe und des Ausmaßes der Blickbewegungen von dem einen Objekt oder Objektpunkt zum anderen, ferner durch die Übung, Erfahrung und Gewohnheit unter Ausnutzung von Vergleichsmöglichkeiten mit bekannten Gegenständen unterstützt und vervollkommnet. Endlich tragen die Deutlichkeit und Lichtstärke des Netzhautbildes, die unbewußte Empfindung der Akkommodationstätigkeit und die damit in innigem Zusammenhang stehende größere oder kleinere Konvergenzstellung beider Blicklinien zur Sicherung des Urteils bei.

Vor allem geht aus dem Gesagten wieder hervor, eine wie große Rolle für die Raumauffassung die außerordentliche Beweglichkeit der Augen spielt, durch die das Sehorgan befähigt wird, den Raum nach Art eines Tastorgans gleichsam abzutasten und so seine räumlichen Entfernungen abzumessen. Dadurch wird sowohl die Erweiterung der Raumanschauung im großen als auch die feinere Ausgestaltung im kleinen ermöglicht. Natürlich muß ebenso wie für alle anderen Sinnesbetätigungen vorausgesetzt werden, daß ein gewisses Maß von Befähigung zur Raumanschauung als angeboren mit auf die Welt gebracht wird, das darin beruht, daß eine gleichzeitige Reizung zweier Netzhautpunkte nicht nur zwei Einzeleindrücke, sondern darüber hinaus noch das Bewußtsein ihrer räumlichen Entfernung voneinander hervorruft. Diese Besonderheiten sind in spezifischen, an die raumwahrnehmenden Organe gebundenen Struktureigentümlichkeiten zu suchen. Wie sehr und nach welchen Richtungen hin diese Fähigkeiten weiter noch durch die paarweise Anordnung und gleichsinnige, koordinierte Tätigkeit beider Augen vervollkommnet werden, ist Gegenstand der Erörterungen im Ab-

schnitt über den Raumsinn und das körperliche Sehen (siehe Seite 61).

Der Lichtsinn. Da die Grundempfindung des gesamten Sehens vom Sonnenlicht abhängig ist auf Grund des Umstandes, daß bei weitem die meisten Seherlebnisse unter dem Einfluß und mit Hilfe des Sonnenlichtes erfolgen, so muß das weiße Sonnenlicht als eine Norm für die gesamte Lehre vom Lichtsinn einschließlich des Farbensinns betrachtet und behandelt werden und alle Erscheinungen sind in letzter Instanz auf die Wirkungen zurückzuführen, die von zurückgeworfenem Sonnenlicht herrühren, soweit sie überhaupt von der Natur der Beleuchtung abhängig sind.

Die Fähigkeit des menschlichen Sehorgans, seinem anatomischen Bau und seinen physiologischen Eigenschaften entsprechend als Sinnesorgan dem Gesamtorganismus zu seinem Schutz und Nutzen zu dienen, hat die Existenz des Lichtes zur Voraussetzung; die Funktion des Auges ist an das Vorhandensein des Lichtes gebunden. Ohne Licht in dem uns umgebenden Raume wäre das Auge als solches wert- und zwecklos. Die Energie des ins Auge eindringenden Lichtes verwandelt sich im Innern des Auges (in der Netzhaut) in solche Energie, welche die dort vorhandenen Nervenenden reizt und dadurch die Ursache der Lichtempfindungen wird. Praktisch sind unsere Seherlebnisse so gut wie alle bedingt durch Wirkungen, welche von zurückgeworfenem Sonnenlicht herrühren. In bezug auf seine Reaktionsfähigkeit den Einwirkungen des Lichtes gegenüber kann das Auge als eine Art Tastorgan aufgefaßt werden, welches uns befähigt, sich der größeren oder geringeren Helligkeit des Lichtes bewußt zu werden, die Wirkungen der Lichtstrahlen zu empfinden, zu beurteilen und zu qualifizieren. Diese Lichtempfindung könnte in unserem Bewußtsein nicht zustandekommen, wenn der uns umgebende Raum stets von gleichmäßiger Helligkeit erfüllt wäre. Erst die Unterschiede in der Helligkeit, die verschiedenen Lichtintensitäten oder Lichtstärken lassen die Lichtempfindung überhaupt in das Bewußtsein treten.

Die Fähigkeit des Sehorganes, Helligkeitsunterschiede und Verschiedenheiten der Lichtstärken mit all den unendlich vielen und feinen Abstufungen von tiefster Dunkelheit bis zur größten Helle zu emptinden

und des Eindruckes der Lichtempfindungen bewußt zu werden, verdanken wir einer besonderen Eigenschaft des Auges, dem Lichtsinn. Wie außerordentlich groß die absolute Empfindlichkeit des Auges für äußerst geringe Lichtreize ist, geht schon daraus hervor, daß sie diejenige der empfindlichsten photographischen Platten um mehr als das Hundertfache übertrifft. Während es eine geraume Zeit dauert, um in einem halbdunklen Raume deutliche photographische Bilder zu erhalten, macht das Auge sozusagen Momentaufnahmen noch von den lichtschwächsten Gegenständen wie z. B. den Sternen 5. Größe. Nicht minder erstaunlich ist der Umfang, mit dem der Gesichtssinn die verschieden abgestuften objektiven Lichtreize zu empfinden und zu beurteilen vermag. Für die Abhängigkeit der Lichtempfindungen von den sie hervorrufenden Lichtreizstärken besteht eine allgemeine für sämtliche Sinnesreize geltende Gesetzmäßigkeit, die ebenfalls in der eigentümlichen Erregbarkeit der nervösen Substanz begründet ist. Nach dem sog. Fechner-Weberschen Gesetz entspricht zwar der zunehmenden Steigerung der objektiven Reize ebenso wie ihrer Abnahme eine Steigerung bzw. Abnahme der zugeordneten Empfindungen, aber immer langsamer und träger, und zwar annähernd so, daß zur Erzielung eines Empfindungszuwachses von stets gleich bleibender Merklichkeit die zugehörigen Reize stets eine verhältnismäßig gleiche Steigerung, d. h. eine Steigerung um einen gleichen Bruchteil, erfahren müssen. Im Zusammenhang und Einklang damit steht das Gesetz, daß die Reize wohl mannigfaltiger als die zugeordneten Empfindungen sein können, daß aber nie das umgekehrte Verhältnis stattfindet. Macht die Reihe der einzelnen Glieder der verschiedenen Empfindungen den Eindruck einer gleichmäßigen Stufenfolge, die also einen gleich großen Abstand, d. h. einen Abstand um gleiche Beträge voneinander erkennen lassen, oder mit anderen Worten in arithmetischer Progression fortschreiten, so bilden die dazu erforderlichen Reize eine geometrische Reihe: dem Fortschreiten der Empfindungen in einer arithmetischen Reihe entspricht ein Fortschreiten der zugehörigen Reizstärken in geometrischer Folge. Die Empfindungen wachsen demnach proportional den Logarithmen der zugehörigen Reizstärken. Indes hat dieses Gesetz nur für das große Gebiet der mittleren Reizstärken, eben mit

denen wir es im gewöhnlichen Leben ganz überwiegend zu tun haben, völlige Gültigkeit; die Gesetzmäßigkeit hört dort auf, wo das Auge zu versagen beginnt, nämlich einerseits bei sehr großer, in Blendung übergehender Helligkeit, anderseits bei sehr geringer dort, wo die Lichtreize deutlich schwächer werden, bis sie überhaupt keinen Eindruck mehr zu machen vermögen. Auch wenn die Sonne z. B. um ein Mehrfaches heller wäre, wie sie es ist, würde sie dem Auge nicht viel anders erscheinen. Für sehr starke wie für sehr schwache Reize sind stets sehr viel größere Steigerungen bzw. Abnahmen der Reize erforderlich, um einen bestimmten gleichen Grad der Empfindungsänderung hervorzurufen, bis schließlich eine solche überhaupt nicht mehr stattfindet. Diese Gesetzmäßigkeiten haben den großen Vorteil, daß wir wie für jedes Empfindungsgebiet, so auch für dasjenige des Sehorgans, mit nur einem Apparat auszukommen vermögen, und weiter machen sie uns in gewisser Beziehung unabhängig von den sich am häufigsten wiederholenden Veränderungen der äußeren Lichtreizverhältnisse, die sonst ein Wiedererkennen der Dinge erschweren würden. Es kommt also nicht auf das absolute Hell- oder Dunkelsein an, das ja stets starken Schwankungen unterliegt, sondern vielmehr auf die Deutlichkeit, mit der sich die Dinge im Ganzen und in ihren Teilen voneinander abheben, also auf die relative Größe der an den Dingen empfundenen Verschiedenheiten. Die Quotienten der objektiven Reize bleiben ja bei all den Schwankungen der Helligkeiten stets ungeändert und infolgedessen erkennen wir die Dinge auch bei den verschiedensten Helligkeiten stets als dieselben.

Die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges für Helligkeitsdifferenzen allein würde uns aber noch nicht in den Stand setzen, Gegenstände z. B. auch bei herabgesetzter Beleuchtung in einer gewissen Schärfe zu erkennen, wenn sie nicht begleitet wäre von dem Vermögen der Dunkel- und Hellanpassung (Adaptation), die darin besteht, daß sich die Netzhaut nach einer gewissen kurzen Übergangszeit an die veränderte Helligkeit gewöhnt und die zuerst empfundene Einbuße an deutlichem Sehen, sei es infolge von Blendung beim Übergang vom Dunkeln ins Helle, sei es beim Übergang von der Helligkeit in die Dunkelheit ganz oder teilweise wieder ausgleicht. Es ist jedermann geläufig, daß die Sichtbarkeit aller im Raume befindlichen Gegenstände usw. hinsichtlich ihrer Deutlichkeit und Schärfe in hohem Maße

abhängig ist von der Helligkeit, d. h. dem Grade der Lichtstärke; mit der Herabsetzung der Helligkeit sinkt die Sehschärfe, bei sich steigernder Lichtintensität nimmt sie zu. Die genannten Anpassungseinrichtungen im Verein mit dem Blendenmechanismus der Regenbogenhaut machen das Auge in weitgehendem Maße unabhängig von dem Wechsel der objektiven Lichtstärke und schränken ihren Einfluß auf die Beschaffenheit der Gesichtsempfindungen ganz wesentlich ein. Es kann daher die absolute Lichtstärke sich innerhalb sehr weiter Grenzen ändern, ohne daß der Eindruck auf das Auge ein anderer wird. Es wird dadurch ermöglicht, die Dinge der Außenwelt trotz beträchtlicher Änderung der bestehenden Lichtverhältnisse noch zu erkennen und zu unterscheiden. Es ist ja auch nicht der biologische Zweck des Sehorgans, die absolute Menge des Lichtes, die Lichtstärke, quantitativ wahrzunehmen, wozu es auch gar nicht befähigt ist, sondern nur das Verhältnis zwischen dem auffallenden und dem zurückgeworfenen Licht, welches qualitativ wie quantitativ ganz unverändert bleibt, auch wenn sich an dem auffallenden Licht die Intensität in beliebigem Umfange ändert. Die Lichtstärke ist demnach k e i n Faktor, der die Qualität des Lichtes bestimmt, und Helmholtz' Auffassung der Helligkeit als der dritten Veränderlichen der Farben neben Farbton und Reinheit (oder Sättigung) ist, wie wir noch sehen werden, in dieser Form unzutreffend.

Betritt man, aus der Helligkeit des Tages kommend, einen halbdunklen Raum, so unterscheidet man in ihm zunächst so gut wie nichts. Nach einer kurzen Weile nimmt aber infolge Steigerung der Lichtempfindlichkeit das Unterscheidungsvermögen rasch zu und die vorher ganz undeutlichen Gegenstände werden immer deutlicher erkennbar, bis eine bestimmte Grenze erreicht ist: Das Auge hat sich an die „relative" Dunkelheit gewöhnt (D u n k e l a d a p t a t i o n). Der Vorgang der Dunkeladaptation nimmt in der Hauptsache nur kurze Zeit in Anspruch und rührt von einer allmählichen Erholung und dadurch bedingten Zunahme der Lichtempfindlichkeit der Netzhaut her. Entgegen den für den Grad der absoluten Sehschärfe beim Tagessehen bestehenden Gesetzmäßigkeiten ist diese übrigens sehr beträchtliche Zunahme der Empfindlichkeit in der Netzhautmitte eine viel geringere als in den mehr oder weniger außerhalb derselben gelegenen Abschnitten. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß diese Tatsache der vorzugsweisen

Lokalisation des Dämmerungssehens in den seitlichen Netzhautgebieten mit der Bildung des ausschließlich den Stäbchen zukommenden Sehpurpurs in näheren Beziehungen steht.

Ein ähnlicher Vorgang spielt sich in umgekehrter und dabei viel schnellerer Weise ab, wenn wir nach vollständiger Dunkelanpassung aus dem dunkeln Raume wieder in die Helle des Tages heraustreten. Das anfängliche Gefühl der Blendung mit seiner beeinträchtigten Lichtempfindung, das uns ein Fixieren der Gegenstände unmöglich macht, muß ebenfalls erst durch Gewöhnung an den neuen Zustand überwunden werden, ehe wieder deutliches Sehen erfolgen kann, ein Vorgang, der als Helladaptation bezeichnet wird. Hierbei tritt eine Abnahme der Netzhautempfindlichkeit durch Ermüdung ein. Durch diese Veränderungen der Empfindlichkeit des Auges erklärt es sich daß wir die im alltäglichen Leben vorkommenden, ziemlich bedeutenden Schwankungen der Lichtstärke ohne Schwierigkeit vertragen.

Der Mangel eines solchen Anpassungsvermögens, dem man gelegentlich angeboren und bei gewissen Sehnervenerkrankungen, auch infolge von Ernährungsstörungen, z. B. bei Unterernährung begegnet, kann sich entweder als sogenannte Tagblindheit bzw. Nachtsichtigkeit äußern, wenn bei herabgesetzter Beleuchtung, wie in der Dämmerung, besser als bei hellem Tageslicht gesehen wird, oder als Nachtblindheit bzw. Tagsichtigkeit, wenn schon bei beginnender Dämmerung das Sehen beeinträchtigt oder unmöglich wird und bleibt. Während die Einwirkung der Dunkelheit auf das Auge keine anderen Folgen hat als die Herabsetzung der Gesichtsempfindung für die Dauer der Verdunkelung, kann durch allzu starke Blendung, wie sie z. B. schon beim längeren Blicken auf größere Schneeflächen durch reflektiertes Licht (Schneeblindheit) oder mehr noch beim Blick in die Sonne, z. B. bei der Beobachtung von Sonnenfinsternissen, durch direktes Licht hervorgerufen wird, neben anderen krankhaften Erscheinungen vorübergehender oder teilweiser, ja völliger und bleibender Verlust des direkten Sehens infolge von mehr oder weniger heftigen Netzhautentzündungen hervorgerufen werden (siehe S. 243).

Die Feinheit des Lichtsinnes ist nicht bei allen Individuen gleichmäßig ausgebildet, sondern schwankt innerhalb gewisser Grenzen, ist auch in etwa von Übung und Gewöhnung abhängig. Er ist um so feiner und ausgebildeter, je kleiner die Helligkeit ist, die das Auge

unter entsprechender Berücksichtigung der Dunkeladaptation im Dunkeln noch eben wahrnimmt (Reizschwelle) und je geringer die Helligkeitsdifferenzen sind, die noch eben unterschieden werden können (Unterschiedsschwelle). Diese Differenzen, welche wir noch eben zu unterscheiden vermögen, sind bei verschiedener absoluter Lichtstärke verschieden groß, am kleinsten bei der mittleren Tageshelligkeit, die wir gewöhnlich bei unseren feineren Arbeiten (Schreiben, Lesen usw.) benutzen. Zur Feststellung der geringsten, noch eben empfundenen Helligkeit sowie der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit dienen besondere Apparate (Massonsche Scheibe, Försters Photometer u. a. m.).

Die Intensität (Stärke) oder Quantität der Lichtempfindung ist von der Weite (Amplitüde) oder der Energie der erregenden Lichtschwingungen abhängig (siehe S. 83 ff.). Bei gleicher Amplitüde ist sie, abgesehen von der Größe des Gesichtswinkels, von dem Erregbarkeitszustand der Netzhaut abhängig, indem ein wohlgeruhtes Auge, das sich längere Zeit im Dunkeln befunden hat, schon von einer geringeren Lichtmenge erregt wird, als ein anderes Auge. Dauert ein Lichteindruck von gleicher Intensität längere Zeit, so nimmt die Wirkung ab, die Netzhaut „ermüdet"; nach einiger Zeit der Ruhe stellt sich indes ihre Erregbarkeit schnell wieder her. Übrigens genügen die im umgebenden Raume befindlichen dunkeln oder wenig lichtstarken Objekte, sowie das kurze Abblenden des Lichtes durch den Lidschlag, um einer störenden Ermüdung der Netzhaut vorzubeugen. Die sich in diesem Verhalten äußernde Beziehung der Empfindungen zu den von außen einwirkenden Reizen entspricht der ebenfalls für alle Sinnesreize geltenden Gesetzmäßigkeit, gemäß der die Orientierung über das Geschehende und Wechselnde bevorzugt ist vor derjenigen über das Zuständliche und Beharrende (s. weiter unten).

Ebenso wie eine gewisse noch so minimale Zeiteinheit verstreichen muß, ehe die Lichteinwirkung den Erregungszustand der nervösen Netzhautelemente bis zur vollen Stärke hervorgebracht hat, wird auch der Lichtreiz von der Erregung eine Zeitlang überdauert, und zwar um so länger, je stärker der Reiz und je weniger ermüdet das Auge war („Abklingen der Lichtempfindung"). Durch diese Nachwirkung der Netzhauterregung erklärt sich auch, warum wir bei raschem Umherblicken oder bei Betrachtung eines in Bewegung befindlichen Gegen-

standes mit unveränderter Blickrichtung nicht die genauen Einzelheiten erkennen können, sondern nur einen verschwommenen Gesamteindruck von ihm und seiner Bewegung erhalten. Ein im Kreise geschwungenes Licht oder ein Meteor erscheint in Gestalt eines Feuerkreises oder einer „Lichtspur", da von jedem einzelnen Lichteindruck her der Gegenstand noch eine Weile sichtbar bleibt, eine Erscheinung, die als „Nachbild" bezeichnet wird. Eine Anwendung dieser physiologischen Gesetze über den Ablauf der Gesichtsempfindungen, d. h. über die Nachwirkung der Netzhauterregung und der sich daraus ergebenden Nachbilder, stellen die Kinematographen dar, bei denen die schnell aufeinanderfolgenden Lichtbilder zu einer einheitlichen und sich verändernden Gesichtsempfindung verschmelzen. Hierher gehören auch die (negativen oder positiven) Nachbilder, welche man empfindet,

Fig. 21.

wenn man unmittelbar nach dem Anblick eines hellbeleuchteten Gegenstandes die Augen schließt resp. auf eine dunklere Fläche blickt, oder wenn man nachts ein helles Licht fixiert und dann plötzlich auslöscht. Stark beleuchtete Flächen bzw. helle Flächen auf dunklem Grund, wie z. B. ein weißes Quadrat in der Mitte eines größeren dunklen erscheinen, zumal wenn nicht scharf akkommodiert wird, größer, als sie wirklich sind, während die benachbarten dunklen Flächen um so viel kleiner aussehen (siehe Fig. 21). Diese als Irradiation bezeichnete Erscheinung erklärt sich dadurch, daß die Ränder der hellen Flächen über die der benachbarten dunkleren gewissermaßen hinausgreifen, um so mehr, je größer die Zerstreuungskreise (siehe S. 24) sind, welche von den lichten Flächen im Auge entworfen werden. Der Reizzustand verbreitet sich nämlich von dem unmittelbar von einem Lichtreiz getroffenen Teile der Netzhaut auch auf die direkt benachbarten Teile

und läßt so die vom Reiz getroffenen Stellen etwas größer erscheinen als sie in Wirklichkeit sind.

Das lediglich mit dem Lichtsinne im engeren Sinne des Wortes begabte Auge würde weder die Farbigkeit noch auch die Körperlichkeit der Raumform der uns sichtbaren Gegenstände usw. zu erkennen und zu beurteilen vermögen. Einem solchen Auge würde sich der Gesichtskreis als eine große Fläche darstellen, in der sich alles Gesehene nur durch die größere oder geringere Helligkeit bzw. Dunkelheit unterscheidet. Es käme das, was wir sehen, ungefähr einer photographischen Aufnahme oder einem Stich des Gesehenen gleich, wo die Grenzlinien all der vielen helleren und dunkleren Partien flächenhafte Formen und Gestaltungen bilden, deren Körperlichkeit und Raumform wir nur mittels auf andere Weise, z. B. durch den Tastsinn erworbener Erfahrungen und Erkenntnisse erschließen könnten.

Die Verschiedenheiten der Lichtempfindung bei verschieden heller Beleuchtung und die Anpassung des Auges an die verschiedenen Lichtstärken beruht neben der die Menge des einfallenden Lichtes regulierenden Beweglichkeit der Pupille auf der physiologischen Eigenschaft des Auges als D o p p e l o r g a n. Als solches umfaßt es zwei verschiedenen Zwecken dienende Apparate, die sich gegenseitig zur vollen Wirkung ergänzen. Der eine, der durch die nach allen Seiten von der Netzhautmitte aus in zunehmendem Maße angeordneten Stäbchen mit dem Sehpurpur dargestellt wird, dient für das Sehen in der Dämmerung und im Dunkeln und ist für buntes Licht unempfindlich; der andere vermittelt das scharfe Sehen bei der üblichen Tages- usw. -helligkeit mit der ganzen Mannigfaltigkeit des Farbensehens und wird durch die nur in der Sehgrube der Netzhautmitte befindlichen Zapfen gebildet. Bei schwachem Licht hört die Funktion des Zapfenapparates, bei hellem die des Stäbchenapparates auf. Daher sinkt das scharfe deutliche Sehen der Zapfenelemente mit der zunehmenden Dämmerung allmählich, während das undeutliche farblose Stäbchensehen zunimmt. Nicht aber als ob der Stäbchenapparat bei hellem Tageslicht gänzlich ausgeschaltet wäre, wohl ist ein genaueres Erkennen der Größen und Entfernungen ruhender Dinge mit den seitlichen Netzhautpartien nur sehr unvollkommen, indem sie die Formen nur verschwommen erkennen lassen, aber sie dienen zur Wahrnehmung aller Bewegungen und des Auftretens

räumlicher Veränderungen in der ganzen Ausdehnung des Gesichtsfeldes.

Die hochgradige, ja eigentlich ununterbrochene Beweglichkeit der Augen macht sie zur prompten und sicheren Wahrnehmung schnell wechselnder und verschieden starker Lichtreize besonders geeignet. Im Gegensatz dazu stumpft sich ihre Empfindlichkeit bei unveränderter Fixation schnell ab, das Helle erscheint dunkler, das Dunkle heller, die Farben blassen ab und werden grauer. Sie passen sich den einwirkenden Reizen bei längerer Dauer an, so daß diese ihnen einen zunehmend geringeren, neutraleren Eindruck machen an Stelle des anfänglich stärkeren und auffallenderen. Die biologische Zweckmäßigkeit dieser Erscheinung, die sich auf anderen Empfindungsgebieten wiederholt, liegt auf der Hand, sie beruht auf der Notwendigkeit für den Organismus, im Abwehrkampfe mit der Außenwelt auf das Neue und Ungewohnte, vom Bestehenden Abweichende möglichst schnell und sicher eingestellt und vorbereitet zu sein.

Der Raumsinn und das körperliche Sehen. (Das Sehen mit zwei Augen.) Zur Vervollkommnung der durch den Lichtsinn ermöglichten Gesichtsempfindungen ist dem Sehorgan eine weitere Eigenschaft verliehen, die darin besteht, Licht gleichzeitig örtlich und räumlich verschieden zu empfinden und seine Herkunft innerhalb gewisser Grenzen richtig zu lokalisieren. Mit anderen Worten, das Auge vermag die von den einzelnen Punkten der im Raum sichtbaren Gegenstände ausgehenden Lichtstrahlen gesondert aufzufassen, und infolge der Wahrnehmung der räumlichen Anordnung der ein Objekt zusammensetzenden Punkte gelangt es zu einer Vorstellung von der Gestalt dieser Objekte. Das Gesichtsfeld mit den in ihm sichtbar erscheinenden körperlichen Gegenständen der Außenwelt bietet sich unserem Auge, wie wir sahen, zwar als eine ebene bildhafte Fläche dar, also in zweidimensionaler, nach Länge und Breite orientierter Darstellung, trotzdem aber haben wir von allen Objekten in ihm die lebhafte Vorstellung von ihrer körperlichen Gestaltung, ihrer Dreidimensionalität, sowie ihres verschiedenen Abstandes sowohl von uns selbst als auch voneinander. Das bedeutet, daß mit unserer Flächenwahrnehmung gleichzeitig eine Tiefenwahrnehmung verbunden ist, die uns

befähigt, die körperlich-plastische Form der Gegenstände richtig zu erfassen und sie ihrer räumlichen Lage entsprechend richtig zu lokalisieren, mit einem Worte, „körperlich“ zu sehen. Diese Fähigkeit, die als Raumsinn bezeichnet wird, beruht in der Hauptsache auf dem gleichzeitigen Sehen mit beiden Augen (binokulares Sehen) und der Verarbeitung der beiden gleichzeitig erfolgenden Netzhautreize in den Sehzentren der Hirnrinde. Eine einfache Überlegung überzeugt uns, daß die beiden von irgendeinem körperlichen, nicht zu weit von den Augen entfernten Gegenstande auf der Netzhaut entworfenen Bilder nicht absolut identisch sein können, da sich ja unsere beiden Augen nicht an derselben Stelle im Raume befinden und sie die von uns gesehenen Gegenstände daher genau genommen von zwei verschiedenen Punkten aus betrachten. Es ent-

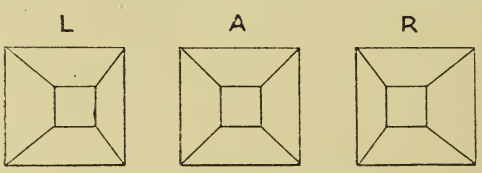


Fig. 22. Körperliches Sehen.

spricht z. B., wenn wir die abgestumpfte Pyramide (siehe Fig. 22) betrachten, das in das rechte Auge fallende Bild derselben der Figur *R*, das in das linke fallende der Figur *L*. Diese beiden verschiedenen Netzhautbilder werden erst im Gehirn durch das Bewußtsein zu einem einheitlichen Bilde verschmolzen, in welchem wir neben den zwei Dimensionen der Länge und Breite auch die dritte Dimension, die Tiefe, wahrnehmen. Denn die vermittels des Tastsinnes gewonnene Erfahrung hat uns gelehrt, daß nur von solchen Objekten, die eine derartige Ausdehnung nach drei Dimensionen haben, also nur von körperlichen Gegenständen die beiden Augen perspektivisch verschiedene Bilder empfangen.

Der naiven Vorstellung will es schwer einleuchten, daß das Voneinander-Entferntsein der Dinge in der Richtung der Gesichtslinie, also von vorn nach hinten, auf dem die körperliche Anschauung beruht, nicht ebenso etwas ursprünglich Gegebenes sein soll, wie ihre Erstreckung nach Breite und Höhe. Und doch kann für das Einzelauge die Tiefenwahrnehmung keine reizbedingte Sinnes-

empfindung sein. Die Tiefenauffassung, die mit der von einem bestimmten Netzhautpunkt gelieferten Empfindung ursprünglich gegeben ist, kann nur eine, der Sehraum des Einzelauges nur eine Fläche, genauer gesagt, eine Hohlfläche sein, denn die hintereinander in verschiedener Tiefe liegenden Gegenstände erscheinen bei gleicher Größe wie Lage der Netzhautbilder dem Einzelauge durchaus gleich. Erst durch die Vermittlung einer Reihe von Erinnerungen und Erfahrungen vermag auch das Einzelauge eine Vorstellung von der Räumlichkeit und Tiefe der Dinge zu gewinnen. Wir sehen die plastische Körperlichkeit also bei monokularer (einäugiger) Betrachtung nur mit dem geistigen Auge.

Von den oben angeführten Tatsachen wird praktischer Gebrauch in der Anwendung der Stereoskope gemacht, in denen zwei gleiche nebeneinander befindliche flächenhafte Bilder als ein einheitliches Bild von großer Körperlichkeit erscheinen. Weitere Vorteile des binokularen Sehens sind der größere Umfang des Gesichtsfeldes, Erleichterung und größere Genauigkeit des Urteils über die Entfernung und die wirkliche Größe der Objekte und schließlich die Möglichkeit, die angeborenen und erworbenen Mängel des einen Auges durch das andere zu verbessern oder zu ersetzen. Voraussetzung für die Verschmelzung der Bilder zu einem einzigen und damit für das körperliche Sehen ist, daß die Bildpunkte der Gegenstände auf denselben Stellen der beiden Netzhäute zustande kommen, die wir als korrespondierende oder identische Netzhautpunkte kennen lernten. Dies ist stets nur der Fall bei gleichgerichteter normaler Stellung und Bewegung beider Augen, wie sie von der gleichsinnigen und wechselseitig voneinander abhängigen Tätigkeit der die Augen bewegenden äußeren Augenmuskeln abhängig ist. Die Grundbedingung der normalen Stellung besteht darin, daß die beiden Blicklinien sich stets im Fixationspunkte schneiden, d. h. immer in der gleichen Ebene, der Blickebene, bleiben. Die Blicklinien konvergieren daher, und zwar um so mehr, je näher der Fixationspunkt den Augen liegt; mit zunehmender Entfernung nähern sie sich immer mehr einem parallelen Verlauf. Ist die gleichsinnige Tätigkeit der Augenmuskeln gestört, wie z. B. beim Schielen infolge von krankhafter Lähmung eines oder mehrerer Augenmuskeln, wo die Sehachse des einen Auges auf einen anderen mehr oder weniger seitlich liegenden Punkt gerichtet

zu sein scheint, als die des zweiten, so fallen die Bildpunkte nicht mehr auf korrespondierende Netzhautstellen und es treten anstatt der einfachen Bilder Doppelbilder auf, die sich als Doppeltsehen außerordentlich störend geltend machen können. Übrigens zeigt die Erfahrung des täglichen Lebens, daß auch beim Sehen mit nur einem Auge die Tiefenwahrnehmung und körperliches Sehen nicht völlig aufgehoben erscheinen, da in den Hilfsmitteln der Übung und des die Entfernungen und die Größenverhältnisse abschätzenden Vergleiches, ferner in der Beurteilung der Schattenbildung, der Licht- und Schattenverteilung, der Einwirkung der die Perspektive beeinflussenden Lichtabsorption und Lufttrübungen, der Veränderung des Beobachtungsstandpunktes, sowie in der vergleichsweisen Verwertung bekannter Größenverhältnisse ein brauchbarer Ersatz zur Verfügung steht. Immerhin kann man sich schon durch den einfachen Versuch des Einfädelns einer Nähnadel überzeugen, wie viel sicherer unser Urteil über die Entfernung der Gegenstände bei Betrachtung mit beiden Augen ist als mit nur einem.

Der Farbensinn. Diese als Lichtsinn und Raumsinn näher gekennzeichneten Eigenschaften des menschlichen Sehorgans finden ihre letzte Ergänzung und Vervollständigung zur Höhe seiner als Gesichtssinn bezeichneten Gesamtleistungsfähigkeit im Farbensinn, der in besonders nahen, eigentlich überhaupt nicht trennbaren Beziehungen zum Lichtsinn steht. (Näheres über den Farbensinn siehe Kapitel 6.)

Viertes Kapitel.

Sehorgane im Tierreich.

Die Lichtsinnorgane der niederen Lebewesen. Ebenso wie die Menschen, verfügen auch die meisten Tiere über besondere Organe, durch die das Licht auf sie einwirken und ihnen Gesichtseindrücke vermitteln kann. Während die Lichtempfindlichkeit bei den niedrigsten Gattungen der Bakterien und Protozoen nicht an ein besonderes Organ gebunden ist, sondern gewissermaßen eine Funktion des ganzen ein- oder mehrzelligen Organismus darstellt, beschränkt sich bei den höheren Tieren die Weiterentwicklung zu einem Sehorgan auf einige bestimmte Zellen, welche in der steigenden Tierreihe allmählich eine immer höhere Entwicklung und Vervollkommnung erfahren haben.

Bei den niedrigsten ein- oder mehrzelligen Organismen kommt es unter dem Einfluß des Lichtes zu zusammenziehenden Bewegungen des ganzen Zelleibes oder zu Ortsveränderungen und Weiterbewegungen nach dem Lichte hin oder vom Lichte weg, indem sie, wie viele Würmer und Weichtiere, nach den hellsten Stellen streben oder sich dem Einfluß der Lichtstrahlen entziehen und ein weniger intensives Licht aufsuchen. In dem Maße, wie wir in der Tierreihe aufsteigen, sehen wir, daß sich die besonderen in den Dienst der Funktion des Sehens gestellten Hautstellen in ihrem Bau komplizieren, daß eigene an ihre Rolle angepaßte Apparate auftreten mit im großen und ganzen zwar stets dem nämlichen Bau, gelegentlich aber auch mit meist sekundären Abweichungen, die manchen von ihnen ein Aussehen geben, welches es bisweilen schwierig macht, es mit den höher entwickelten Sehorganen zu vergleichen und auf eine Stufe zu stellen. In der einfachsten Form wird schon bei einigen Einzelligen (Amöben, Infusorien) die Lichtempfindung durch eine besondere als „Augenfleck" bezeichnete pigmenthaltige Sinnesepithelzelle von verschiedener Färbung vermittelt, die bei den niedrigen Mehrzelligen (Metazoen) mit einem Nervenelement in Verbindung steht.

In dieser Epithelzelle, dem primitiven Sehorgan, werden ebenso wie in dem höher entwickelten Auge die Lichtstrahlen verschluckt, in eine andere Form der Energie verwandelt und durch eine Nervenfaser einer Nervenzelle im Zentralorgan zur weiteren Verarbeitung zugeleitet. In einer etwas höheren Ausbildung stellt das Sehorgan einen ebenfalls pigmentierten Komplex weniger Zellen dar, von denen einige lichtempfindlich und mit einem Nerv versehen sind, während andere lichtbrechend werden und als Linse dienen. Die die Lichtempfindung vermittelnden Sehzellen tragen an ihrem Ende feine Stäbchen (Sehstäbchen), die von dem Pigment freibleiben. Bilder werden von diesen primitiven Sehorganen wohl noch nicht erzeugt, aber die Lichtempfindlichkeit vermittelt infolge des Pigmentschutzes die Wahrnehmung der Richtung, aus der die Lichtstrahlen herkommen (Richtungsaugen). Derartige, schon als Augen anzusprechende Sehorgane werden z. B. bei einigen Würmern angetroffen. In noch weiterer Entwicklung senkt sich das anfangs ganz an der Hautoberfläche gelegene Auge mehr in die Tiefe und bildet eine offene Grube, deren Grund die Netzhaut bildet. Solche Augen mit verhältnismäßig hoher Entwicklung finden sich z. B. bei den Weichtieren. Schließt sich die Grube nach außen und kommt es zur Bildung einer Linse, so entsteht das Kammerauge, wie es bei den Wirbeltieren die Regel ist. In ihrer primitivsten Form als Punkt- oder Nebenaugen (Ozellen) auftretend, setzen sich die Sehorgane der Gliedertiere, insbesondere der Insekten, als Fazettenaugen aus ungemein vielen, gelegentlich nach Tausenden zählenden Einzelaugen zusammen, die rings von der Eintrittsstelle der Nerven fächerförmig ausstrahlen. Unter den stark lichtbrechenden Fazetten liegen die Kristallkegel, darunter die Sehstäbchen, an die der Sehnerv herantritt. Beim Sehen wirkt nicht jedes Einzelauge für sich, sondern ein ganzer Komplex dieser Einzelaugen zusammen. Bei anderen Gliederfüßern und bei einigen Fischen kommen geteilte Augen vor, die anscheinend dem Bedürfnis entsprechen, in zwei verschiedenen Richtungen oder in zweierlei Medien, Luft und Wasser, zu sehen; bei ihnen ist ein Teil des Auges abgesondert und liegt unterhalb des Hauptauges. Bei den meisten im Wasser lebenden Tieren ist das Auge im ruhenden Zustande umgekehrt wie bei den meisten Wirbeltieren und beim Menschen für die Nähe eingestellt, also kurzsichtig, und bedarf, um in die Ferne sehen zu können, eines Akkommodationsmechanismus, der in

einer Verschiebung der fast kugelrunden und stark lichtbrechenden Linse beruht.

Die Augen der Wirbeltiere. Besonders gut ausgestattet und seinen Funktionen vortrefflich angepaßt ist das Auge der Vögel. Der Augapfel ist von auffallender Größe, nach hinten verlängert und verbreitert, die Hornhaut sehr stark gewölbt und durch einen Ring von Knochenplättchen geschützt. Bei den Wirbeltieren nähert sich das Sehorgan in Bau und Form immer mehr demjenigen des komplizierten Menschenauges. Es ist zur Bildung eines Augapfels gekommen, der, von Fett und Bindegewebe umgeben in der knöchernen Augenhöhle liegt, durch einen Muskelapparat bewegt und von Augenlidern bedeckt wird. Doch ist bei den verschiedenen Abteilungen der Wirbeltiere eine weitgehende Differenzierung der einzelnen Teile nach Form, Bau und Lage zu erkennen. Bei den meisten Tieren liegen die zumal bei den niederen Tieren nach Zahl und Lage sehr verschiedenen Augen am Kopfe, sie finden sich aber auch an ganz anderen Stellen, z. B. bei den Seesternen an den Enden der Arme und bei einigen Muscheln am Mantelrand. Ganz fehlen oder zurückgebildet sein können die Augen bei den in der Dunkelheit lebenden Tieren.

Die beim Menschen unvollkommene Sehnervenkreuzung wird beim Wirbeltier zu einer um so vollkommeneren, je niedriger das Tier in der Ordnung steht. Sie wird bedingt durch die verschiedene Lage der Augen am Kopf und ist vollkommen bei soweit seitlicher Lage, daß das Tier keinen Punkt der Umwelt mit beiden Augen gleichzeitig sehen kann und die Gesichtsfelder daher völlig getrennt sind. Es ist deshalb zu einer gleichmäßigen Verarbeitung beider Gesichtseindrücke in den entgegengesetzten Gehirnhälften eine vollständige Kreuzung der Sehnervenfasern notwendig. Je mehr aber bei den höheren Tieren die Augen nach vorn und schließlich in eine Frontalebene rücken, um so größer wird das gemeinschaftliche, sich deckende Gesichtsfeld und um so kleiner braucht die Zahl der vollständig gekreuzten Sehnervenfasern zu sein.

Der auffallende Glanz im Auge mancher höheren Wirbeltiere und auch vieler Fische und Reptilien rührt hauptsächlich her von einer hellrötlich oder grünlich glänzenden, das Licht stark reflektierenden und daher auch im Halbdunkel leuchtenden Stelle der Aderhaut (dem

sogenannten Tapetum lucidum) im Hintergrunde des Auges; es dient zur besseren Ausnutzung geringer Lichtmengen und weist Fluoreszenzerscheinungen auf.

Das Sehen der Tiere. Über die Art und Leistungsfähigkeit des Sehens der Tiere können wir uns zwar nur unvollkommene Vorstellungen machen, aber wir dürfen annehmen, daß ihre Sehqualitäten den unsrigen um so mehr entsprechen, je ähnlicher ihr Sehorgan dem unsrigen in Ausbildung, Gestalt und relativer Größe ist und je höher der ganze Organismus in der Tierreihe steht. Bei den ein- und mehrzelligen Organismen kann von einem eigentlichen Sehen überhaupt noch nicht die Rede sein, hier handelt es sich um nichts mehr als um bloße lichtempfindliche Organe. Bei den Richtungsaugen der niederen Tiere kann das Auge nur die Richtung des an eine bestimmte Stelle geleiteten Lichtreizes wahrnehmen und darnach seine Bewegungen nach der Lichtquelle hin oder von ihr weg orientieren. Zur wirklichen Bilderzeugung kommt es erst bei den mit Linse und Netzhaut ausgestatteten Kammeraugen. Wieweit sie indes Lichtbilder und somit fernstehende Gegenstände wahrzunehmen vermögen oder vielleicht nur gegen optische Bewegungsreize empfindlich sind, entzieht sich noch unserer genauen Kenntnis. Was speziell den unsere Darstellung besonders interessierenden Farbensinn der Tiere angeht, so haben darüber zum Teil stark übertriebene Vorstellungen geherrscht, die erst in der neuesten Zeit auf ihr richtiges Maß zurückgeführt wurden (Untersuchungen von C. v. Heß). Hiernach lassen sich sämtliche Tiere hinsichtlich ihres Licht- und Farbensinnes in zwei große Gruppen teilen. Die erste umfaßt die Amphibien, Reptilien, Vögel und Säuger, die zweite die Fische und die wirbellosen Tiere. Die der ersten Gruppe angehörenden Tiere verhalten sich so, wie es der Fall sein muß, wenn ihre Sehqualitäten ähnliche oder die gleichen sind wie jene des normalen, farbentüchtigen Menschen. Die der zweiten Gruppe angehörenden Tiere verhalten sich so, wie es der Fall sein muß, wenn ihre Sehqualitäten ähnliche oder die gleichen sind wie jene des total farbenblinden Menschen, für den, wie wir später (s. S. 174) sehen werden, überhaupt keine Farbenunterschiede, sondern nur Helligkeitsunterschiede bestehen. Für diese Tiere stimmen die Kurven der relativen Reizwerte der verschiedenen homogenen Lichter überein mit der Helligkeitskurve für den total farbenblinden Menschen bei jeder

Lichtstärke und für den dunkeladaptierten normalen Menschen bei entsprechend schwachem Reizlichte. Während bisher die Meinung herrschend war, der Farbensinn zeige in der Tierreihe weite Verbreitung auch nach unten, ist festzustellen, daß ein dem unsrigen vergleichbarer Farbensinn sich auf die luftlebenden Wirbeltiere beschränkt, bei allen anderen dagegen auszuschließen ist. Ein bei ihnen etwa doch vorhandener Farbensinn wäre jedenfalls so sehr anders geartet als der unsere, daß wir uns keine Vorstellung von ihm machen können; denn es wäre ein solcher anzunehmen, bei dem die Helligkeiten aller von den Tieren farbig gesehenen Lichter dennoch für sie annähernd oder genau die gleichen wären wie für den total farbenblinden Menschen, oder aber man müßte eine so geringe Sättigung annehmen, daß die von den Tieren wahrgenommenen Farben auf deren farblosen Helligkeitswert keinen nachweislichen Einfluß hätten. Der Versuch, den Beweis für den Farbensinn der Insekten (Biene usw.) aus den Blumenfarben herzuleiten, muß schon deshalb vergeblich sein, weil man dabei einen dem unsrigen bis zu einem gewissen Grade vergleichbaren Farbensinn voraussetzt.

Man hat auch geglaubt, daß die ultraveilen Strahlen von Insekten (insbesondere Ameisen) und Krebsen als solche direkt wahrgenommen werden, das Spektrum für sie demnach eine wesentlich andere Begrenzung habe als für unser Auge (s. Kap. 6), indes führt der Nachweis der relativ starken Fluoreszenz des brechenden Apparates dieser Tiere zu der Auffassung, daß das ultraveile Licht von ihnen nicht als solches wahrgenommen wird, sondern nur vermöge der Fluoreszenz, die die an sich auch für diese Tiere nicht sichtbaren kurzwelligen Strahlen in längerwellige verwandelt. Die bei manchen Reptilien und Vögeln, besonders Tagvögeln zum Ausdruck kommende Verkürzung des kurzwelligen Spektrumendes dergestalt, daß sie auch fast leuchtend blaue Objekte nicht wahrzunehmen vermögen, hat ihre Ursache in der Vorlagerung farbiger Ölkugeln vor den optischen Empfangsapparat zwischen den Außen- und Innengliedern der Zapfen, in denen das kurzwellige Licht verschluckt wird. Infolgedessen verhalten sich diese Tiere etwa so wie ein durch kressfarbiges Glas blickender Mensch. Außerdem läßt sich bei den Tagvögeln eine deutliche Zunahme ihrer Lichtempfindlichkeit durch Dunkeladaption nachweisen. Die Tatsache, daß man bei den Schildkröten, obwohl vorzugsweise Nachttiere, bisher

überhaupt keine Stäbchen und auch keinen Sehpurpur in der Netzhaut hat nachweisen können, scheint, der bisherigen Annahme entgegen, dafür zu sprechen, daß auch in Wirbeltieraugen, deren Netzhäute lediglich Zapfen enthalten, umfangreiche adaptive Änderungen stattfinden. Auch die Amphibien sind solcher Änderungen in beträchtlichem Maße fähig. Die Sehqualitäten der Fische entsprechen, wie schon gesagt, denjenigen des total farbenblinden Menschen; es findet also eine Verkürzung des langwelligen Spektralteiles statt und die Lichtempfindlichkeit steigt gleich nach dem Eintritt aus dem Hellen ins Dunkle sehr beträchtlich an. Das Lanzettfischchen (Amphioxus) nähert sich mit seinen primitiven Augen dem typischen Sehorgan der Wirbellosen. Es besteht aus einer Anzahl von becherartigen Pigmentzellen und einer in deren Höhlung eingebetteten Sehzelle, aus der ein Nervenfortsatz hervorgeht. Diese Becheraugen liegen auf beiden Seiten des in der Längsrichtung verlaufenden Zentralkanales.

Besondere Einwirkungen des Lichtes auf die Tiere. Der auf die Augen einwirkende Lichtreiz bedingt bei manchen Tieren, z. B. Krebsen, einen gewissen Farbenwechsel ihres Körpers, indem sie sich der Farbe ihrer Umgebung anzupassen fähig sind. Die Hautfärbung wird unter dem Einfluß der Augen durch besondere in der Haut gelegene pigmenttragende Apparate (Chromatophoren) reflektorisch bewirkt, die sich auf Lichteinfluß zusammenziehen und verschieben. Die Färbung hängt ab von der Helligkeit des Grundes, dem sie sich anpaßt. Auf Einwirkung des hellen Tageslichtes werden die Tiere hell und transparent, auf schwarzem Grunde werden sie dunkel. Geblendete Krebse färben sich ebenfalls dunkel, bis sich die Augen erneuert haben. Etwas Ähnliches gilt für die Cephalopoden, z. B. den Octopus, und wird auch von manchen Fischen behauptet.

Die Entwicklungsgeschichte des Auges. Die Beteiligung der Keimblätter. An dem entwicklungsgeschichtlichen Aufbau des Sehorgans der Wirbeltiere und des Menschen beteiligen sich von den drei als übereinanderliegende Schichten den jungen Embryo bildenden sogenannten Keimblättern, dem äußeren oder Hautsinnesblatt (Ektoderm), dem mittleren oder Muskelblatt (Mesoderm), dem inneren oder Darmdrüsenblatt (Entoderm) nur das äußere

und mittlere Keimblatt. Vom ersteren stammen Linse, Netzhaut, Sehnerv und die übrigen Augennerven nebst einigen Bestandteilen der Regenbogenhaut und des Ziliarkörpers; alles andere stammt vom mittleren Keimblatt. Auch für das Auge der Wirbellosen hat dieses Entwicklungsschema in seinen Grundzügen Geltung, nur bilden sich Linse und Netzhaut gleichzeitig und gemeinsam (durch Einstülpung des äußeren Keimblattes), während sie sich bei den Wirbeltieren zeitlich und örtlich getrennt entwickeln.

Die Anlage des lichtempfindenden Apparates stammt bei den Wirbeltieren und auch beim Menschen aus dem Kopfteil des zentralen Nervensystems. Sobald die anfangs rückenwärts offene Rinne des äußeren Keimblattes, aus dem das Nervenrohr entsteht, sich bis auf kurze Strecken an den Enden geschlossen hat, tritt in ihm eine Gliederung in die einzelnen Gehirnteile ein (Vorderhirn, Mittelhirn, Hinterhirn und Rückenmark). An der Wand des Vorderhins entstehen zu einer Zeit, wo das Nervenrohr vorn noch ungeschlossen ist, kleine Ausbuchtungen, welche als die beiden seitlich gelegenen Sehgruben die erste sichtbare Anlage der Augen darstellen. Mit dem Schluß des Nervenrohres rücken die Augen in die Tiefe und wölben sich als primäre Augenblasen an der Oberfläche stärker vor, stehen aber mit dem Vorderhirn durch den kurzen Augenstiel in Verbindung. Der ganze Vorgang erscheint wie eine unvollständige Abschnürung der Augenblasen vom Gehirn. Aus diesen Augenblasen und dem Augenstiel entstehen die Netzhaut und der Sehnerv, die demnach Teile des Gehirns sind. Die primäre Augenblase wird durch eine Einstülpung ihrer Wand in das embryonale Auge (Augenbecher oder sekundäre Augenblase) umgebildet. Dieses wird dadurch doppelwandig und zeigt eine auf den Augenblasenstiel übergehende, zum Sehnerven hin verlaufende Rinne, die fötale Augenspalte, deren Ränder gegeneinander zuwachsen und miteinander verschmelzen; sie verläuft in gerader Richtung von vorn nach hinten. An der äußeren Öffnung des Augenbechers bildet sich die Linse, welche als Einsenkung des die Augenblase überziehenden und hier verdickten Ektoderms entsteht. Das zunächst hohle Linsenbläschen steht durch einen Stiel mit der Oberfläche in Verbindung, schnürt sich dann aber ab und das Ektoderm wächst darüber wieder zusammen. Aus dem die Augenblase umgebenden Mesoderm entstehen

Aderhaut, Lederhaut, Hornhaut, Regenbogenhaut, Teile des Strahlenkörpers (sowie sämtliche Gefäße des Auges), und zwar in einzelnen Schichten, welche die lichtbrechenden Medien umgeben und zuerst ein zusammenhängendes Ganzes darstellen, aus dem erst später die einzelnen Teile örtlich getrennt hervorgehen. Der Glaskörper ist ektodermaler Herkunft und entsteht aus der Netzhaut. Aus dem in der Spalte des Sehnerven eingeschlossen liegenden mesodermalen Gewebe bilden sich die Zentralgefäße des Sehnerven, welche sich anfänglich in die äußersten Schichten des Glaskörpers fortsetzen und erst später zu Netzhautgefäßen umwandeln. Ein Zweig der Zentralarterie zieht durch den Glaskörper nach vorn zum hinteren Linsenpol und verästelt sich hier zu einem Gefäßnetz, bildet sich aber vor der Geburt wieder völlig zurück und verschwindet.

Die Augenlider entstehen als Hautfalten, die von oben und unten über die Hornhaut wachsen und durch Vereinigung der Lider verschmelzen; die Innenfläche der Hautfalten bildet sich zur Bindehaut um. Aus dem Bindehautepithel geht die Tränendrüse in Form einer soliden Wucherung hervor.

Fünftes Kapitel.

Lichtsinnorgane im Pflanzenreich.

Die Einwirkungen des Lichtes auf die Pflanzen. Die Fähigkeit, Lichtreize zu empfinden und in irgendeiner Form zu beantworten und zu verwerten, beschränkt sich keineswegs auf die Vertreter des Tierreichs, sondern wird auch im Pflanzenreich in mannigfachster Weise beobachtet. Ebenso wie in der Tierwelt gehört das Licht neben Wärme, Schwerkraft und anderen Einflüssen zu den hauptsächlichsten Mitteln für die Pflanzen, ihr Dasein zu erhalten, ihr Wachstum zu fördern oder auch zu hemmen, die Anlage und Neubildung von Organen zu beeinflussen und sich in der Welt zu orientieren.

Bekanntlich rührt die Grünfärbung der Laubblätter und Stengel von einem grünen Farbstoff her, dem Chlorophyll, der in Gestalt von winzigen Körnchen unmittelbar unter der durchsichtigen Oberhaut der Blätter in Zellen eingebettet gelagert ist und dem die wichtige Aufgabe zufällt, aus der Kohlensäure der Luft und dem durch die Wurzeln aufgenommenen Wasser Zucker und Stärke zu bilden, ein Vorgang, der als Assimilation bezeichnet wird und der nur unter dem Einfluß und der Mitwirkung genügend starker Beleuchtung durch direktes Sonnenlicht oder diffuses helles Tageslicht in den chlorophyllhaltigen Organen vor sich geht. Auch für die Bildung des Chlorophylls in den Blättern ist das Licht notwendig, außer bei den Keimlingen der Koniferen, bei denen sie auch im Dunkeln vor sich geht. Im allgemeinen bleiben aber in der Dunkelheit die Blätter gelb und die Stengel weiß.

Von den verschiedenfarbigen Strahlen des weißen Lichtes sind die weniger brechbaren roten und gelben am wirksamsten bei dem Vorgang der Kohlensäurezersetzung.

Die Lichtbewegungen der Pflanzen. Der Assimilationsvorgang wird wesentlich unterstützt durch das Bewegungsvermögen der pflanzlichen Organe, durch welches die Blätter usw. in eine zu den

Bedingungen der bestmöglichsten Lichtwirkung passende Lage gebracht werden. Außer den inneren Bewegungen bei den Lebensvorgängen zeigen die pflanzlichen Organismen selbst sichtbare Bewegungen, die ebenfalls zum Teil unter dem Einfluß des Lichtes zustande kommen und auf der Reizbarkeit ihres Protoplasmas beruhen.

Die durch den Lichtreiz hervorgerufene Bewegung kann sich in verschiedener Weise äußern. Als Ortsbewegung wird sie nur bei kleineren, freibeweglichen Organismen, z. B. bei Plasmodien, Schwärmsporen und Bakterien, als Lageveränderung bei Organen festgewurzelter Pflanzen beobachtet, wo bleibende Krümmungen entstehen, die durch ungleichseitiges Längenwachstum zustande kommen, oder wo durch Lichtwechsel Bewegungen der Blätter und Blattstengel allein hervorgerufen werden. Derartige Lageveränderungen, bei denen die Organe eine ganz bestimmte Richtung zum Lichtreize einnehmen, bezeichnet man als Photo- oder Heliotropismus, während die richtende Ortsbewegung durch Licht, sei es in anziehender oder abstoßender Wirkung, positive bzw. negative Phototaxis genannt wird. Auch der Heliotropismus äußert sich entweder als eine Krümmung der Pflanzenteile in der Richtung nach dem Lichte zu (positiver) oder als eine solche von der Lichtquelle weg (negativer Heliotropismus).

Die Ortsbewegungen sind besonders gut bei den Schwärmsporen der Algen wahrzunehmen, wenn man sie in einem Glasgefäß der einseitigen Beleuchtung aussetzt, wo sie sich der Richtung der Lichtstrahlen entgegen bewegend an der Lichtseite ansammeln. Plasmodien von Schleimpilzen fliehen das Licht. Eine starke Phototaxis ist den Chlorophyllkörnern innerhalb der Zelle eigen; sie bringt das Chlorophyllkorn an Ort und Stelle oder durch Wanderung an andere Stellen hin in eine derartige Lage, daß es eine größtmögliche Lichtmenge aufnehmen kann.

Die einzelnen Organe einer Pflanze verhalten sich oft ganz verschieden gegen den Lichtreiz. Die Stengel z. B. wachsen zum Licht hin, die Wurzeln vom Lichte weg; beide wachsen in der Richtung der Strahlen weiter, die Blätter dagegen stellen sich ihrem Nutzen für die Assimilationstätigkeit entsprechend mit ihren Flächen ungefähr senkrecht zur Richtung der einfallenden hellsten Strahlen („fixe Lichtlage"), wobei allerdings die Lichtmenge und Intensität auch zu Ver-

änderungen und Abwechslungen im Sinne einer Regulierung des einfallenden Lichtes Anlaß geben kann.

Am häufigsten ist der positive Phototropismus, er findet sich bei fast allen oberirdischen Pflanzen; maßgebend für die phototropische Ruhelage ist stets das Aufsuchen der günstigsten Lebensbedingungen und als solche die Richtung des einfallenden Lichtes, indem jede Änderung der Strahlenrichtung auch eine Stellungsänderung der phototropischen Organe zur Folge hat. Die positiv phototropischen Krümmungen kommen dadurch zustande, daß die dem Lichte zugewandte Seite langsamer, die vom Lichte abgewandte Seite dagegen stärker wächst als bei allseitiger Beleuchtung. Das Licht kann also nur bei einseitigem Einfall auf die Pflanze krümmend wirken.

Die phototropischen Bewegungen werden ebenso wie die phototaktischen Ortsveränderungen frei beweglicher Schwärmsporen der Algen von den blauen und veilen Strahlen in der Regel am stärksten beeinflußt; alle anderen, insbesondere die roten Strahlen, haben eine erheblich geringere Wirkung. Aus einer gewissen Ähnlichkeit des entsprechenden Verhaltens der Lichtreaktionen bei den Vertretern der niederen Tierwelt hat man auf die Identität des tierischen mit dem pflanzlichen Heliotropismus schließen zu können geglaubt. Dem ist aber entgegenzuhalten, daß die heliotropische Wirkung bei Tieren am stärksten, nicht wie bei den Pflanzen im Blau, sondern im Gelbgrün zu finden ist, wo für die Pflanzen die heliotropische Wirkung schon fast ein Minimum geworden ist. Das Verhalten der Lichtreaktion ist also bei Tier und Pflanze kein identisches oder auch nur ähnliches, sondern ein entgegengesetztes.

Außer den genannten finden bei vielen Blättern langsame Bewegungen statt, die mit dem täglichen Wechsel der Beleuchtung zusammenhängen und ebenfalls als Folge von Veränderungen der Lichtintensität auftreten; solche Blätter sind am Tage flach ausgebreitet, in der Nacht aufwärts oder abwärts zusammengefaltet (Schlafbewegungen). Bei länger dauerndem Aufenthalt der Pflanzen in der Dunkelheit werden sie völlig unbeweglich; es tritt die Dunkelstarre ein, die sich erst bei Rückkehr ans Tageslicht wieder löst.

Der Lichtbedarf der Pflanze. Wenn auch das Licht der Sonne die eigentliche Lebensquelle aller grünen Pflanzen ist und sich alle normaler-

weise am Licht lebenden Pflanzen dauernd nur weiter entwickeln, wenn ihnen Licht zuströmt, ohne welches ja auch die Chlorophyllbildung nicht zustande kommt, so ist doch ihr Lichtbedürfnis recht verschieden, und es fehlt nicht an solchen, bei denen es auffallend gering ist (Schattenpflanzen). Überhaupt wirkt starkes Licht hemmend auf das Wachstum der Pflanzen, und zu helle Sonnenbestrahlung kann das Chlorophyll zerstören. Gewisse Pflanzen schützen sich sogar gegen übermäßige Helligkeiten, z. B. durch einen raschen Stellungswechsel der gefiederten Blätter, durch eine entsprechende Haarbedeckung oder auch durch Bildung eines roten bzw. veilen, lichtschluckenden Farbstoffsaftes in den Oberhautzellen der Blätter, den die Sonnenstrahlen passieren müssen, ehe sie zu den Chlorophyllkörnern gelangen.

Ebenso wie bei der Assimilation, sind die Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge verschieden wirksam auf das Wachstum der Pflanzen. Es wird hauptsächlich durch die kurzwelligen blauen, veilen und ultraveilen Strahlen beeinflußt, während das langwellige rote Ende des Spektrums wie Dunkelheit wirkt.

Auch auf den inneren Bau der Pflanze ist die Lichtintensität nicht ohne Wirkung; Schattenblätter weisen oft einen anderen Bau auf als in voller Sonne erblühte Blätter der gleichen Art. Durch Steigerung der Lichtintensität kann man schließlich jede Pflanzenzelle zum Absterben bringen, mag dabei das Licht im einzelnen mehr thermisch oder mehr chemisch wirken.

Daß neben der Art und Stärke auch die Richtung des Lichtes von maßgebendem Einfluß sein kann, ist bereits weiter oben (Phototropismus, Phototaxis) erwähnt worden.

Das Licht als Reiz. Bei allen diesen Vorgängen haben wir es mit Reizbewegungen zu tun, die ganz ähnlich den bei Tieren beobachteten sind, und es lassen sich, wie bei diesen, Reizaufnahme, Reizleitung und Reizbeantwortung unterscheiden. Auch kann dem Reizmengengesetz entsprechend eine Summierung von Reizen erfolgen, die einzeln unwirksam sind.

Meist erfolgt die Aufnahme des Lichtreizes an derselben Stelle, an der auch die Bewegung zustande kommt. Es kann aber auch eine deutliche Trennung in Reizaufnahme-(Perzeptions)organe und Be-

wegungsorgane vorliegen, die an die Verhältnisse im Tierreich erinnert. Ein wesentlicher Unterschied liegt indes in der Art der Reizleitung, denn bisher sind in der Pflanze spezifisch reizleitende, den Nerven vergleichbare Zellsysteme noch nicht eindeutig nachweisbar geworden oder haben als solche Anerkennung gefunden, sondern man nahm an, daß der Reiz nur von Zelle zu Zelle weitergegeben wird. Dabei betrachtet man die Perzeption des Lichtreizes als eine dem ganzen Pflanzenkörper zukommende Eigenschaft und dachte sich die Lichtwirkung als mit photochemischen Prozessen eng verknüpft.

Indessen hat es nicht an Versuchen gefehlt, das Bestehen von Lichtsinn und Lichtsinnorganen auch im Pflanzenreich nachzuweisen. Diese Frage mußte sich mit um so größerer Selbstverständlichkeit erheben, als ja ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den Lebenserscheinungen der Tierwelt und der Pflanzenwelt nicht besteht und sich auf physiologischem Gebiete noch deutlicher als auf morphologischem zeigt, wie ähnlich das Leben in beiden Reichen abläuft. Neuere Versuche und Beobachtungen machen es in der Tat wahrscheinlich, daß die Reizleitungsvorgänge innerhalb des Pflanzenkörpers durch ein System besonderer Leitungsbahnen vermittelt werden, die von äußerst feinen Plasmaverbindungen oder Plasmabrücken (P l a s m o d e s m e n) dargestellt werden, welche alle lebenden Zellen des ganzen Pflanzenkörpers zu einer Einheit verbinden. Es liegt weiter die Annahme nahe, daß nicht a l l e lebenden Zellen des Pflanzenkörpers in gleicher Weise befähigt sind, Reize weiterzuleiten, sondern daß, wie beim tierischen Organismus, vielleicht b e s o n d e r e Zellenzüge, deren Elemente sich etwa durch langgestreckte Form von den übrigen Zellen unterscheiden, in besonderem Maße zur Reizleitung geeignet und vorgesehen sind, und daß wir diese Zellstränge den Nerven der Tiere vergleichen können. Möglicherweise sind die langgestreckten Zellen der Gefäßbündel, die sogenannten S i e b r ö h r e n, besser imstande, diese Funktion der Reizleitung zu erfüllen als die übrigen lebenden Zellen, zumal die Querwände solcher langgestreckter Zellen, wenigstens bei einzelnen Pflanzen, von besonders vielen Plasmodesmen durchsetzt werden.

Indessen findet bei den Pflanzen nur eine einfache Reizleitungsbahn zu dem Reizaufnahmeorgan und der Reaktionszone statt, während im Gegensatz dazu die Tiere eine zusammengesetzte Leitung aufweisen

(sensorische Bahn, Zentralorgan, motorische Bahn). Sie sind also ähnlich zu bewerten wie die Reizleitungen, die durch eine direkte Reizung des motorischen Nerven oder des Muskels ausgelöst werden.

Die Augen der Pflanzen. Der Annahme, daß diese Reizleitungsbahnen auch für die Fortpflanzung und Übertragung von Lichtreizen in Betracht kommen können, stehen keine Bedenken entgegen, und es erhebt sich nur noch die Frage nach dem Bestehen von besonderen Aufnahmeorganen für die Lichtreize irgendwo an der Oberfläche des Pflanzenkörpers, wenn auch nur bei einzelnen höher entwickelten Pflanzenorganismen, bei denen gesteigerte Ansprüche an das Vermögen der Reizwahrnehmung das Bedürfnis nach Ausbildung entsprechend gebauter Sinnesorgane geweckt und bei denen die Versuche einer rein physikalisch-chemischen Erklärung der Reizvorgänge im Stich gelassen haben.

Ganz wesentlich unterstützt wurden die Versuche, Sinnesorgane nachzuweisen, durch die sich immer stärker geltend machende Erkenntnis, daß auch den Pflanzen ganz allgemein nicht sowohl Reizbarkeiten, als vielmehr Sinnesfähigkeiten zuzusprechen sind. Bisher herrschte die Annahme vor, daß bei der Pflanze im Gegensatz zum Tier eine diffuse Ausbreitung der Empfindlichkeit Regel, die Lokalisierung der Empfindlichkeit auf bestimmte Stellen von besonderem anatomischen Bau aber Ausnahme sei, eine Auffassung, welche allerdings unseren derzeitigen noch sehr lückenhaften Kenntnissen entsprach. Trotzdem legte die Reihe der gemeinsamen Merkmale in der Organisation und im Leben der Tiere und Pflanzen auch die Erörterung der Frage nach dem Bestehen von Lichtsinnesorganen im Pflanzenreich nahe, nachdem mit der Entdeckung des zelligen Aufbaues des Tier- und Pflanzenreiches der erste Schritt getan war, um die Gemeinsamkeit der Organisation in beiden Reichen festzustellen. Nicht nur der tierische, sondern auch der pflanzliche Zellinhalt, das lebende Protoplasma, ist zur Aufnahme verschiedenartiger äußerer Reize mit spezifisch verschiedenen Reizbarkeiten ausgestattet. Mit solchen haben wir es zu tun, wenn z.B. die Mimose bei Berührung ihre Blattstiele senkt und die Fliederblättchen zusammenklappt, wenn eine Bakterie auf ein Fleischstückchen zusteuert usw. Und wenn wir sehen, wie ein einseitig beleuchteter Blattstengel sich gegen die Lichtquelle

hin krümmt, sind wir wohl berechtigt, auch den Pflanzen ein natürlich nur im physiologischen Sinne zu verstehendes Empfindungsvermögen für Lichtreize, sowie Lichtsinneswahrnehmungen zuzusprechen, eine Vorstellung, die ihrerseits wieder das Bestehen besonderer Lichtsinnesorgane zur Voraussetzung hat, die ebenso wie bei den Tieren zur Aufnahme und Verarbeitung der Lichtreize dienen.

Den ersten großen Fortschritt ergab in dieser Richtung die Feststellung, daß ebenso wie beim Tier, so auch bei der Pflanze der Ort der Reizaufnahme und der der Reizbeantwortung räumlich getrennt sein können. So nimmt das im Wachstum befindliche Haferpflänzchen das Licht, oder richtiger gesagt, die Richtung der einfallenden Lichtstrahlen mit der Spitze der Keimblattscheide wahr, während die darauf erfolgende Wachstumveränderung, die zu einer phototropischen Krümmung des Halmes führt, an einer tiefer unten gelegenen Stelle desselben erfolgt. Mit dieser räumlichen Trennung von Reizaufnahme und Reizerfolg ist das Bestehen der Ausbreitung von Erregungszuständen im lebenden Pflanzenkörper, d. h. eine Reizfortpflanzung ausgesprochen, deren Leitungsbahnen die oben erwähnten Plasmaverbindungen darstellen können.

Bei zahlreichen niederen Pflanzenformen und den Schwärmsporen der meisten Algen ist aller Wahrscheinlichkeit nach der pigmenthaltige sogenannte Augenfleck das Organ der Lichtempfindung, d. h. es ist nicht, wie vielfach angenommen wurde, der pigmentierte Augenfleck selbst lichtempfindlich, sondern das ihm angelagerte farblose Plasma, während das Pigment des Augenfleckes nur als eine Art Lichtschirm für das Abblenden und die Richtungsweisung der Lichtstrahlen zu dem lichtempfindlichen Plasma dient. Bei den höheren Pflanzen gilt schon seit langem, wie gesagt, die Spitze der Keimblattscheide verschiedener Gräser als lichtempfindliches Organ, ohne daß hier besondere, die Lichtaufnahme begünstigende Einrichtungen vorlägen. Bei den Laubblättern, deren Einstellung in die „fixe Lichtlage" als die günstigste Stellung für den Vorgang der Assimilation unter dem Einfluß der Lichtrichtung wir bereits kennen lernten, nimmt man neuerdings an, daß die Blattspreite die lichtempfindlichen Organe enthält und bei ihren phototropischen Bewegungen auf den Blattstiel den Bewegungsreiz ausübt, der zur Einstellung in die günstige Lichtlage führt. Möglicherweise besorgt dabei der Blattstiel vermittels seiner

eigenen Lichtempfindlichkeit, falls eine solche vorhanden ist, die grobe Einstellung, während unter dem Einfluß der Blattspreite erst die feinere Einstellung erfolgt. Die Wahrnehmung des Lichtes und insbesondere seiner Richtung kann in der Blattspreite natürlich nicht in ihrem Inneren stattfinden, wo infolge der Brechungen, Rückwerfungen und Schlukkungen eine weitgehende Zerstreuung und Abschwächung des Lichtes eintritt und wo vom Chlorophyllfarbstoff gerade die stärker brechbaren blauen und veilen Lichtstrahlen absorbiert werden, die die stärkste phototropische Reizung bewirken. Vielmehr liegt es am nächsten, die lichtwahrnehmenden Organe in den obersten Schichten der Epidermis zu vermuten, die meist aus einer einzigen Lage farbloser Zellen besteht, welche den klaren Zellsaft enthalten. Die Außenwände der Zellen sind gewöhnlich mehr oder minder vorgewölbt, die Innenwände dagegen eben. Auf diese Weise kann jede Epidermiszelle als plankonvexe Sammellinse die einfallenden Strahlen derart brechen, daß die gesammelten Lichtstrahlen die Mitte der Innenwand am stärksten beleuchten, die Randzonen aber mehr oder weniger dunkel lassen. Die Wahrnehmung der Lichtrichtung erfolgt demnach auf Grund von Helligkeitsunterschieden auf den Plasmazellhäuten, die wir als lichtempfindlich anzusprechen haben, die den Außen- und Innenwänden der Oberhautzellen anliegen und auf verschieden hohe Lichtintensitäten abgestimmt sind. Mit der Änderung der Lichtrichtung ändert sich auch in gesetzmäßiger Weise die Intensitätsverteilung des Lichtes auf dem Boden der Zelle. Fällt das Licht nicht senkrecht, sondern schräg auf das Blatt, so rückt das helle Mittelfeld an die Seite und die Randzone wird auf der einen Seite breiter, auf der entgegengesetzten schmäler. Diese Änderung der Helligkeitsverteilung wirkt als Reiz und löst die entsprechende Bewegung mit dem Erfolge aus, daß das phototropische Gleichgewicht erreicht ist, wenn wieder das Mittelfeld der Zelle am hellsten, die Randzonen am schwächsten beleuchtet sind. Diese Blattstellung entspricht dann der fixen Lichtlage, in der die Lichtstrahlen dem biologischen Bedürfnis der Pflanze entsprechend ziemlich senkrecht auf die Blattfläche einfallen.

In seltenen Fällen werden auch etwas tiefer unter der Oberfläche gelegene Zellen, die hauptsächlich als Öl- oder Gerbstoffbehälter dienen, zur Lichtsammlung herangezogen.

Nach dieser Auffassung stellt also die Oberhaut der Blattspreite

das lichtempfindliche Sinnesepithel dar, welches einem einzigen ausgedehnten Fazettenauge gleich die Oberseite des Blattes bedeckt. Jede Zelle ist Linse und Sinneszelle zugleich und die die Innenwände der Zellen bekleidenden Plasmahäute, die für den Lichtreiz empfindlich sind, stellen in ihrer Gesamtheit die Netzhaut vor. Als lichtbrechende Substanz dient der klare, durchsichtige Zellsaft, der optische Apparat wird durch Vorwölbung der Außenwände der Zellen hergestellt. In gewissen Fällen hat sogar schon eine Art Arbeitsteilung stattgefunden insofern, als der runden, kuppelförmig emporragenden Oberhautzelle, der Sinneszelle, auf ihrem Scheitel noch eine ganz kleine Zelle von bikonvexer Gestalt und klarem, stark lichtbrechendem Inhalt aufsitzt, die als Sammellinse dient, wodurch der ganze Apparat eine gewisse Ähnlichkeit mit den „Richtungsaugen" der niederen Tiere gewinnt (Haberlandt).

Zusammenfassendes über die Entwicklung des Lichtsinns. Auf Grund der bisherigen Ausführungen und im Hinblick auf den mehr oder weniger komplizierten Bau und die Funktion der Sehorgane im Tier- und Pflanzenreich lassen sich verschiedene Abstufungen des Sehens unterscheiden. Die einfachste Form der Lichteinwirkung ist nur eine verschiedene Reizung durch verschiedene Lichtintensitäten, die sich, wie im Pflanzenreich, als Helldunkelempfindung äußert. Eine höhere Leistung ist das Richtungsehen, wobei der durch das Licht hervorgerufene Gesamtreiz verschieden ist je nach der Richtung, aus der das Licht kommt. Von Bewegungssehen ist dann zu sprechen, wenn die Reize, die durch bewegte Lichtpunkte ausgelöst werden, je nach der Richtung und Schnelligkeit der Bewegung unterschieden werden. Die höchste Leistung der Sehorgane ist das Bildsehen. Es kommt in solchen Sehorganen zustande, wo je nach der Gestalt der lichtaussendenden Gegenstände die Kombination der hervorgerufenen Einzelreize verschieden ausfällt. Besondere Einrichtungen an den Sehorganen sind erforderlich, wenn ein Entfernungssehen zustande kommen soll, d. h., wenn der Reizerfolg bei verschiedenen Entfernungen der Gegenstände vom Aufnahmeorgan sich ändern soll.

Diese verschiedenen Abstufungen beruhen nicht sowohl in Verschiedenheiten der Sehzellen, als vielmehr auf Hilfseinrichtungen, die

eine Lichtsonderung ermöglichen und somit auf dem Aufbau des Sehorgans und auf der Anordnung seiner Teile. Das einfachste Mittel der Lichtsonderung ist dunkler Farbstoff, Pigment. Er wirkt als Lichtschirm bzw. als Blendung, indem er nur die Lichtstrahlen aus bestimmten Richtungen zu den Sehzellen hingelangen läßt, diejenigen aus anderen Richtungen aber fernhält. Das zweite Hilfsmittel der Lichtsonderung sind lichtbrechende Körper, die indes fast nur in Verbindung mit Pigment vorkommen, hauptsächlich Linsen, die ein Bild eines oder einer Gruppe leuchtender Punkte auf ein Mosaik von Sehzellen entwerfen und durch Sammeln der Strahlen den Lichtreiz verstärken. Daher kann man aus dem Bau der Sinnesorgane Schlüsse darauf ziehen, zu welchen der bisher genannten Leistungen sie fähig erscheinen. Nur mit dem Farbensehen verhält es sich anders; dieses beruht auf der besonderen Beschaffenheit der Sehzellen, und es kann daher aus der Einrichtung der Organe über ihre Leistung nach dieser Richtung hin wenig oder gar nichts ausgesagt werden.

Sechstes Kapitel.

Der normale Farbensinn.

Die bunte Erscheinung des Sonnenlichtspektrums. Wie in der physikalischen Farbenlehre bereits näher erörtert wurde, setzt sich das weiße Sonnenlicht aus einer Anzahl von Lichtstrahlen zusammen, die durch wellenförmige elektromagnetische Schwingungen zustande kommen, welche sich in bestimmten Geschwindigkeiten vollziehen. Wir sahen ferner, daß die Wellenbewegungen der Lichstrahlen sich durch eine Verschiedenheit der Wellenlängen kennzeichnen, deren zahlenmäßige Werte sich auf durchschnittlich 394 bis 760 millionstel Millimeter feststellen ließen. Diese Werte verteilen sich auf das durch ein Glasprisma in Strahlen von bestimmtem verschiedenfarbigem Charakter zerlegte weiße Licht derart, daß jeder aus der prismatischen Zerlegung hervorgehende Lichtstrahl einen dem Maße seiner Wellenlänge entsprechenden und stets konstanten Reiz im normalen menschlichen Sehorgan auslöst, der eine ebenso gleichmäßig wiederkehrende Farbenempfindung im Gehirn zur Folge hat. Wiederholt sei hier betont, daß die Farbe als solche keine Eigenschaft des Lichtstrahles in dem Sinne, wie z. B. jeder Aggregatzustand, die Härte eines Steines, die Flüssigkeit des Wassers usw., sondern lediglich die Qualität einer Empfindung ist, die in unserem Bewußtsein als Beantwortung eines Reizes auftritt, den die je nach ihrer Wellenlänge verschiedenen Lichtstrahlen, d. h. die elektromagnetischen Schwingungen von bestimmter Wellenlänge auf unsere Netzhaut ausüben. Das ins Auge gedrungene Licht ist demnach auf dem Wege physiologischer Vorgänge ein psychisches Phänomen, eine Empfindung geworden, und daher ist auch die gesamte Farbenlehre als eine psychologische Wissenschaft aufzufassen (siehe S. 45 ff., 3. Kapitel). Hiernach dürfte man, genau genommen, z. B. nicht von einem grünen Licht oder Gegenstand sprechen, sondern nur von einem Licht, dessen Schwingungszahl etwa 530 be-

trägt und das bei dem Durchschnitt der Menschen die Normalempfindung grün hervorruft. Trotzdem halten wir an dem veralteten, wissenschaftlich längst aufgegebene und überholte Anschauungen aufbewahrenden Sprachgebrauch fest und setzen, wie in vielen ähnlichen Fällen, das Endergebnis einer Ursachenkette, nämlich die Farbenempfindung, für die Ursache dieser Wirkung.

Die Reihenfolge nun der bunten Empfindungen, die uns das Spektrum vom Rot über Gelb, Grün und Blau zum Veil vermittelt, entspricht einer Abnahme der Wellenlängen von rund 760 bis zu 394 (s. o.), und man kann den Bereich der einzelnen bunten Empfindungen mit ihren Übergängen ungefähr in folgender schematischer Übersicht darstellen (vgl. auch Physik. Farbenlehre, S. 27 ff. u. S. 70):

Rotes	Licht	hat	die	Wellenlängen	von	rund	760—647
Kresses	„	„	„	„	„	„	647—586
Gelbes	„	„	„	„	„	„	586—535
Grünes	„	„	„	„	„	„	535—492
Kornblaues	„	„	„	„	„	„	462—456
Indigoblaues	„	„	„	„	„	„	456—424
Veiles	„	„	„	„	„	„	424—394

Darüber hinaus läßt sich nach dem Gebiet des Ultraveilen (siehe S. 87) hin unter besonderen Versuchsbedingungen das sichtbare Spektrum noch um ein gewisses Stück verlängern, wenn man den kurzwelligen Teil des Spektrums durch einen Spalt abfängt und allein durch ein zweites Prisma fallen läßt; alsdann erscheint dieser von allen anderen Elementen ausgelöschte Spektralteil als lavendelgraue, schwach sichtbare Farbe in dem Zwischenraum zwischen 394 und 320. Mithin umfaßt der ganze gut sichtbare Teil des Spektrums noch nicht das Intervall einer ganzen Oktave, so daß der Bereich der Sichtbarkeit der elektromagnetischen Schwingungen viel enger ist als derjenige der Hörbarkeit der Schallschwingungen.

Die festen Beziehungen zwischen den subjektiv-psychischen Farbenempfindungen und den objektiv-physiologischen Maßen der Wellenlängen haben dazu geführt, daß man die langwelligen einfach als rotwellige oder rote Strahlen (rotwelliges, rotes Licht), die kurzwelligen als veilwellige oder veile Strahlen (veiles Licht) bezeichnet und daß man bei Strahlen von mittlerer Wellenlänge je nach der größeren oder geringeren Wellenlänge von gelben, grünen und blauen Strahlen oder

Lichtern spricht. Maßgebend bleibt dabei stets die objektive Länge der Welle, während die daraus resultierende Farbenunterscheidung und -benennung das Ergebnis der durch die Erfahrung zustande gekommenen sprachlichen Übereinkunft bildet.

Der Verschiedenheit der Wellenlängen entspricht die verschiedene Brechbarkeit der Lichtstrahlen beim Durchtritt durch das Prisma. Am wenigsten aus ihrer Bahn werden die langwelligen oder roten Lichtstrahlen abgelenkt, am meisten die kurzwelligen veilen. Alle diese Lichter, die ausschließlich aus Strahlen von einer bestimmten Wellenlänge und Brechbarkeit bestehen, welche sich nicht weiter zerlegen lassen, bezeichnet man als einfache oder homogene Lichter. Sie sind daher, genau genommen, auch die einzigen wirklich „reinen“ und „gesättigten“, d. h. am wenigsten mit Weiß verdünnten Lichter, vorausgesetzt, daß sie durch Strahlen von mittlerer Intensität erzeugt wurden. Dahingegen versteht man unter gemischten Lichtern solche, welche sich aus Strahlen verschiedener Wellenlänge zusammensetzen, wie z. B. das schlechthin sogenannte „weiße“ Tageslicht, welches wir ja als ein Gemisch aller sichtbaren Sonnenlichtstrahlen kennen lernten. Theoretisch gesprochen, müßte jedes Licht von einer bestimmten Wellenlänge einen, wenn auch noch so geringen Unterschied in seiner bunten Empfindung von den Lichtern benachbarter Wellenlängen hervorrufen, so daß es objektiv eine unendliche Zahl einfacher Farbenempfindungen gäbe. Die subjektive Unterschiedsempfindlichkeit unseres Auges ist aber insofern begrenzt, als Lichter mit nur geringen Unterschieden ihrer Wellenlänge doch in ihrer Farbenqualität als gleichwertig angesprochen werden. Das entspricht dem bekannten physiologischen Gesetz, daß die Empfindung keine größere Mannigfaltigkeit aufweisen kann als der Reiz, wohl aber eine geringere. Die Empfindlichkeit ist nicht über das ganze Spektrum hin gleichmäßig verteilt, sondern in dem mittleren, grünen und roten Teile weniger stark ausgeprägt als an den gelb und blau erscheinenden Endstrecken. Daraus ergibt sich, daß im Spektrum die Änderung der Farbe nicht regelmäßig mit der Wellenlänge verläuft, indem insbesondere an den beiden Enden im Rot und Veil größere Gebiete von Wellenlängen durchschritten werden, ohne daß der Farbton sich erheblich ändert. Das hat ein charakteristisches Verhältnis der Wellenlängen zugeordneten Ergänzungsfarben insofern

zur Folge, als großen Schritten an den beiden Enden des Spektrums kleine Schritte ihrer Ergänzungsfarben entsprechen. Einer ähnlichen, wenn auch nicht ganz so stark ausgesprochenen Erscheinung begegnen wir in den mittleren Spektralgebieten; auch hier, im Gebiete des Grün, findet eine nicht unerhebliche Änderung der Wellenlänge statt, ohne daß der Farbton eine entsprechende Änderung erleidet. Diesen genannten drei Gebieten stehen, von ihnen eingeschlossen, zwei Gebiete regelmäßiger und annähernd proportionaler Beziehung zwischen Wellenlänge und Farbtonänderung gegenüber, wo also eine schneller fortschreitende Änderung des Farbtons mit der Änderung der Wellenlängen einhergeht.

Im Ganzen vermag das normale Auge, dessen subjektives Urteil uns gegenwärtig als alleiniges Mittel zur Unterscheidung von Farbtönen dient, im Sonnenspektrum etwa bis zu 200 verschiedene Farbtöne einschließlich der an den Endstrecken immer mehr überwiegenden Helligkeitsunterschiede des gleichen Farbtones mit einiger Sicherheit zu unterscheiden, und durch Übung kann man es zu einer noch etwas höheren Unterschiedsempfindlichkeit bringen, die also innerhalb gewisser Grenzen schwankt und daher nicht bei allen Menschen vollkommen gleich ist.

Die große Reihe dieser verschiedenfarbigen Spektrallichter mit ihren vielfachen Übergangs- und Zwischenstufen führt man zwar noch gewohnheitsmäßig auf die sogenannten Regenbogenfarben Rot, Kreß, Gelb, Grün (hell und dunkel), Blau und Veil, richtiger aber auf die drei Hauptfarben Rot, Grün und Ublau, oder die vier Grundfarben (Urfarben) Rot, Grün, Gelb, Blau zurück, und zwar auf Grund ihrer am deutlichsten hervortretenden Merkmale. Mit der letzteren, ihrer Aufeinanderfolge im Spektrum nicht entsprechenden Reihenfolge der vier Grundfarben bringt man unwillkürlich eine gewisse Gegensetzlichkeit zum Ausdruck, die zwischen den beiden Farben des ersten Paares Rot-Grün und denjenigen des anderen Paares Gelb-Blau herrscht. Diese vier Grundfarben, die in allen klassischen Sprachen durch besondere einfache Ausdrücke gekennzeichnet sind, stellen gewissermaßen die vier Eckpfeiler des ganzen vielgestaltigen Benennungsaufbaues für die bunten Empfindungen dar, durch den die gegenseitige Verständigung über die einzelnen bunten Eindrücke ermöglicht wird und zum sprachlichen Ausdruck kommt. Die zwischen den Grund-

farben liegenden Farbtöne (Zwischenfarben) kann man auch durch zusammengesetzte Ausdrücke nach den beiden benachbarten Grundfarben erschöpfend kennzeichnen und benennen, z. B. Blaugrün, Gelbrot, Gelbgrün, Blaurot (für Veil). Es wird aber niemand einfallen, das zwischen Rot und Grün liegende Gelb nach seinen Nachbargrundfarben „Rotgrün" zu nennen, noch weniger wird man die Grundfarben nach den Nachbartönen benennen.

Die Grenzen der Sichtbarkeit eines bunten Spektralbandes am kurzwelligen wie am langwelligen Ende sind keineswegs scharf und bei allen Individuen ein und dieselben. Vielmehr vollzieht sich der Übergang nach der völligen Dunkelheit bzw. Unsichtbarkeit allmählich und ungleichmäßig innerhalb gewisser Schwankungen, die von der Lichtstärke des Spektrums und anderen Beobachtungs- und Versuchsbedingungen abhängen. Es wurde bereits weiter oben (siehe S. 84) erwähnt, daß die Gesamtstrahlen des Spektrums nach beiden Seiten über diese Grenzen des sichtbaren Spektrums herausgehen, infolgedessen die reinen Spektrallichter nur einen verhältnismäßig kleinen Teil der Gesamtstrahlen umfassen. Der Teil des Spektrums, welcher die als Wärmestrahlen bekannten Strahlen von größerer Wellenlänge umfaßt und jenseits des sichtbaren Rot liegt, heißt ultrarot. Dementsprechend liegen am entgegengesetzten Ende des Spektrums die ebenfalls für gewöhnlich nicht sichtbaren kurzwelligen, ultraveilen Strahlen, die bekanntlich chemische und als solche auch besondere von der Heilkunde vielfach in Anspruch genommene Wirkungen auf das lebende Körpergewebe ausüben. Die Unsichtbarkeit dieser äußersten Spektralteile kann entweder davon herrühren, daß diese Strahlen von den verschiedenen durchsichtigen Medien des Auges verschluckt werden, bevor sie die Netzhaut treffen, oder aber daß sie zu langsam bzw. zu schnell sind, um die nervösen Netzhautelemente erregen zu können. Für den größten Teil der ultraroten Strahlen ist es nachgewiesen, daß sie nur eine sehr geringe Schlukkung erleiden, also wegen der Langsamkeit ihrer Schwingungen den Empfangsapparat in der Netzhaut nicht zu erregen vermögen; die ultraveilen Strahlen hingegen werden im Auge fast vollkommen, und zwar von der Linse verschluckt. Sie werden daher nach deren Entfernung vom staroperierten Auge eine nicht unbeträchtliche Strecke weit, bis etwa 113, wahrgenommen. Darüber hinaus aber werden die Schwin-

gungen zu schnell, um die Netzhaut noch erregen zu können, oder allgemein ausgedrückt, jenseits der beiden Enden des sichtbaren Spektrums ist das Auge nicht fähig, sie in die Energieform umzuwandeln, welche durch den Sehnerv zum Gehirn geht und dort die Lichtempfindung bewirkt. Aus dem gleichen Grunde bleiben auch die Röntgenstrahlen dem menschlichen Auge unsichtbar.

Die Reihe der die Netzhaut erregenden Schwingungen von mittlerer Wellenlänge und infolgedessen als bunt empfundenen Spektrallichter vom langwelligen Rot bis zum kurzwelligen Veil ist eine durchaus gleichmäßige und stetige, allerdings bestehen in der Feinheit der Unterscheidung der einzelnen Farbentöne innerhalb des Spektrums gewisse Verschiedenheiten. Auch der Wechsel des Farbentones geht in verschiedenen Gegenden des Spektrums verschieden schnell vor sich. So z. B. werden in der Gegend des Kreß, Gelb und Grün schon zwei Lichter, die nur um wenige Wellenlängen voneinander verschieden sind, in verschiedenen Farbentönen gesehen. Es gestaltet sich daher hier der Übergang von einem zum anderen Farbenton ziemlich schnell, und die flächenhafte Ausdehnung des betreffenden bunten Bezirkes ist entsprechend beschränkt. Je mehr man sich aber den beiden Enden des Spektrums nähert, um so weniger rasch tritt mit der Veränderung der Wellenlänge auch gleichzeitig eine Veränderung im Farbenton ein, bis schließlich an den Endstrecken überhaupt keine Änderung des Farbentones trotz zu- oder abnehmender Wellenlänge, sondern nur noch eine Abnahme der Helligkeit bis zur vollkommenen Dunkelheit auftritt. Diese „Endstrecken“ sind also dadurch charakterisiert, daß in ihrem Bereich die homogenen Farben Rot und Veil in gleichem Farbentone, aber in verschiedener, sich gleichmäßig abstufender Helligkeit gesehen werden.

Die Helligkeitsverhältnisse des Spektrums. Der Abnahme der Helligkeit des Spektralbandes bis zur Unsichtbarkeit an den beiden Enden entspricht eine allmähliche Zunahme der Helligkeit nach der Mitte zu, die aber an dem langwelligen Ende allgemein schneller vor sich geht als am kurzwelligen Spektralteil, und zwar in jeder Hälfte wieder um so langsamer, je mehr man sich von der Endstrecke entfernt. Infolgedessen befindet sich die hellste Stelle nicht in der Mitte des sichtbaren Spektrums, sondern mehr nach dem langwelligen Teil

hin gelagert, und zwar im Bereich der Lichtstrahlen von einer Wellenlänge, die dem normalen Auge als Gelb erscheint (etwa 580). Wir bemerken demnach bei der Betrachtung des Spektrums zwei charakteristische Eigenschaften, nämlich einmal die Verschiedenheit im Farbenton entsprechend der feststehenden Reihe der bunten Empfindungen mit ihren vielfachen Übergängen und Zwischenstufen und dann eine ebenfalls über dieses bunte Spektrum mehr oder weniger gleichmäßig verteilte Verschiedenheit in der Helligkeit. Es ist daher, abgesehen von den Endstrecken, jede Stelle des Spektrums von jeder anderen verschieden sowohl hinsichtlich des Farbentones als auch hinsichtlich der Helligkeit ohne Rücksicht auf die Farbe[1]). Denkt man sich die Farbentöne aus dem Spektrum herausgenommen, so bleibt ein grau erscheinender, von einer hellsten mittleren Stelle nach den beiden Seiten verschieden schnell, aber gleichmäßig sich nach Schwarz hin verdunkelnder Streifen übrig. In der Tat ist es möglich, uns das Sonnenspektrum in dieser Weise sichtbar zu machen, daß es uns nur als grauer Streifen in verschiedener Helligkeit, also gänzlich unbunt erscheint (siehe Tafel I), und zwar lediglich dadurch, daß wir die Lichtstärke des Spektrums möglichst einschränken, oder indem wir das Spektrum nur für einige Augenblicke sichtbar werden lassen, wobei außerdem das rote Ende des Spektrums etwas verkürzt erscheint. Es muß also die erregende Wirkung der Lichtschwingungen, abgesehen von der ihre Sichtbarkeit bedingenden Wellenlänge, noch eine gewisse Intensität, sowie eine gewisse Dauer aufweisen, damit die Erregung der Netzhaut ihren höchsten Grad erreicht. Verlängert man die Einwirkung ein wenig, so erscheint das Spektrum nur aus einem rotgelben und einem blauen Teil zusammengesetzt. Die einzelnen Spektralfarben benötigen daher entsprechend ihrer verschiedenen Wellenlänge eine verschiedene Zeit zur größten Erregung der Netz-

[1]) Die Helligkeitsunterschiede der einzelnen Spektrallichter hängen keineswegs von den objektiven Unterschieden der homogenen Lichtarten selbst oder von der verschiedenen Energie ab, mit der die Schwingungen von verschiedener Wellenlänge erfolgen, da ja die Wärmewirkungen der wenig hellen roten Strahlen stärker sind als jene der gelben mit ihrer größten Helligkeit und die überhaupt stärksten Wärmewirkungen gar mit den unsichtbaren ultraroten Strahlen erzielt werden. Es kann vielmehr die verschiedene Helligkeit nur von gewissen inneren Empfindlichkeitsbedingungen der nervösen Empfangsapparate in der Netzhaut abhängen.

haut; ihren Gipfelpunkt erreichen am schnellsten die roten, weniger schnell die blauen und am langsamsten die grünen Strahlen.

Im gewöhnlichen Leben tritt bekanntlich für die Körperfarben der Gegenstände usw. der Zustand der Farblosigkeit beim Sehen in der Dämmerung, dem sogenannten Dämmerungssehen (siehe S. 56) ein, das sich neben dem Verlust der Farbenempfindung und -unterscheidung durch die große Empfindlichkeit für geringe Helligkeitsunterschiede und für lichtschwache Reize charakterisiert, die gegenüber der gewöhnlichen ganz enorm gesteigert ist. Das Auge befindet sich beim Dämmerungssehen im Zustande der totalen Farbenblindheit (siehe S. 173), bei der alle sonst verschieden bunten Lichter ein und denselben Empfindungston — Grau — hervorrufen, der sich nur durch die verschiedene Helligkeit unterscheidet (Schwarz-Grau-Weißreihe). Auf Grund der weiter oben erwähnten Darlegungen sollte man nun erwarten, daß das Spektralband dem „dämmerungssichtigen" Auge genau so erscheint wie einem tagsehenden, bei dem man nur die Farbtöne nicht mit berücksichtigt, oder mit anderen Worten, daß bei dem bunten wie bei dem unbunt erscheinenden Spektrum die Helligkeitsverteilungen über dasselbe identisch sind. Das ist aber auffallenderweise nicht der Fall, denn während die größte Helligkeit im bunten Spektrum, also beim Tagessehen sich im Gelb etwa bei 580 befindet, ist sie beim dämmerungssehenden Auge, also im unbunten Spektrum, nicht unerheblich nach dem kurzwelligen Ende hin verlagert und liegt in der bei gewöhnlicher Helligkeit grün erscheinenden Stelle der Wellenlänge von 530 (siehe Tafel I). Auf diese Tatsache werden wir noch bei der näheren Erörterung über das Dämmerungssehen und seinen Einfluß auf das Farbensehen zurückzukommen haben. Für jetzt genügt die Feststellung, daß das Farbensehen eine Eigenschaft des Tagsehens ist und an dasselbe gebunden ist, und daß es mit dem Eintritt und unter dem Einfluß des Dämmerungssehens verloren geht, weil die Empfindlichkeit der nervösen Netzhautelemente eine stärkere Reizung zur Auslösung bunter Empfindungen als unbunter erfordert.

Beziehungen zwischen den Farbtönen und der Helligkeitsverteilung des Spektrums. Das stets konstante Verhältnis zwischen Farbton und Helligkeit untereinander und das stets wechselnde Verhältnis des in Far-

benton und Helligkeit bestimmten Merkmals eines Lichtstrahles von bestimmter Wellenlänge zu seinen beiden Nachbarn hat zur Folge, daß wir zwar im Spektrum alle Helligkeitsabstufungen vertreten, diese aber stets nur auf einige wenige Farbtöne verteilt finden, so daß die Ab- und Zunahme der Helligkeit in ihrem ganzen Umfange sich zwar auf das ganze Spektrum, nicht aber auf den Bereich eines jeden einzelnen Farbtons erstreckt. Vielmehr geht die Änderung irgendeines Farbtones, abgesehen von dem lang- und kurzwelligen Ende, stets gleichzeitig mit einer wenn auch nur geringen und, wie schon gesagt, nicht überall gleichmäßigen Abänderung der Helligkeit einher. Auf diese Weise begegnen wir wenigstens in den mittleren Teilen des Spektrums niemals verschiedenen Farbtönen von gleicher Helligkeit, z. B. einem gleichhellen Gelb, Rot oder Grün. Es ist also die Abwandlung der uns bekannten Farbtöne im Spektrum — bis auf eine alsbald zu erwähnende Ausnahme — zwar vollständig, nicht aber auch diejenige der Helligkeitsabstufungen in jedem einzelnen Farbton vom tiefsten Dunkel bis zu seiner hellsten Helligkeit. Eine solche finden wir, und auch da nur beschränkt, bei den roten und blauveilen Tönen in der lang- und kurzwelligen Endstrecke. Da sich aber, wie wir sahen, die hellste Stelle im mittleren Spektralteil befindet und die Helligkeiten von dort nach beiden Enden, wenn auch nicht gleichmäßig abnehmen, so korrespondiert jede Stelle einer bestimmten Helligkeit in der einen Spektralhälfte mit einer solchen in der anderen Spektralhälfte. Aber jedes Glied eines Paares dieser beiden gleich hellen Stellen unterscheidet sich von dem anderen Glied durch einen verschiedenen Farbton, dessen Farbenqualität beim normal farbenempfindlichen Auge also stets an denselben Helligkeitsgrad konstant gebunden ist. Während so die Verschiedenheit der Helligkeitsverteilung innerhalb eines gegebenen Spektrums stets eine unabänderlich und gesetzmäßig wiederkehrende ist, läßt sich eine Veränderung der Helligkeit des gesamten Spektrums und damit gleichzeitig für jeden einzelnen Farbton sehr wohl erreichen, und zwar einfach dadurch, daß man die Intensität der Lichtquelle, also die Lichtstärke, herabsetzt oder steigert. Dadurch wird je nachdem die Helligkeit des ganzen Spektralbandes gleichmäßig verstärkt oder verringert. Von den Folgen der Helligkeitsverminderung des ganzen Spektrums — Eintritt der Grauempfindung an Stelle der Farbenempfindung — ist bereits weiter oben (S. 90) gesprochen worden. Für eine einzelne

Lichtstrahlengattung, z. B. für Strahlen von der Wellenlänge von etwa 540, die unter normalen Verhältnissen für uns die Farbenempfindung Grün auslösen und die wir daher der Einfachheit halber als spektrales Grün bezeichnen, läßt sich eine solche Helligkeitsveränderung dadurch erreichen, daß man aus einem Spektrum eine solche Strahlengattung gesondert auffängt und die Lichtintensität jeweils verstärkt oder verringert. Je nach dem Wechsel der Lichtstärke erscheint der gesondert aufgefangene Lichtstrahl heller oder dunkler getönt. Erst wenn die Änderung der Lichtstärke über ein gewisses Maß hinausgeht, ändert sich auch ihr Einfluß auf den bunten Charakter des Lichtstrahles, wie er uns bei mittlerer Lichtstärke erscheint, und zwar in dem Sinne, daß bei Verminderung der Lichtstärke sich die Farbtöne immer mehr dem Schwarz, bei Verstärkung bis zur Blendung dem Weiß nähern. Die Veränderung des Farbtones bis zur Farblosigkeit geschieht indes insofern auf einem Umwege, als die langwelligen Lichtstrahlen bis herab zur Wellenlänge von etwa 500 sich vorher einem Gelb, die kurzwelligen von 500 ab sich einem Blau nähern. Es beherrschen also unter solchen Umständen die gelben und blauen Farbtöne die ganze bunte Erscheinung des Spektrums unter Verdrängung der roten und grünen Töne und bleiben noch bestehen, wenn diese schon geschwunden sind. Steigert man die Lichtstärke des ganzen Spektrums bis zur Blendung, so verschwinden auch die gelben und blauen Farbtöne. Vermindert man die Lichtstärke, so macht die Blau-Gelbempfindung der Grauempfindung Platz, bis auch diese in völlige Dunkelheit übergeht. Abgesehen von diesen Ausnahme- oder Grenzfällen ist aber daran festzuhalten, daß die Lichtstärke die bunte Eigenschaft des Lichtes durchaus unbeeinflußt läßt. Die absolute Lichtstärke kann sich demnach innerhalb sehr weiter Grenzen ändern, ohne daß der Eindruck auf das Auge geändert wird. Erst an den Grenzen der normalen Funktion, da, wo infolge zu geringer Lichtstärke das Sehen gestört wird und da, wo infolge zu großer Stärke eine Schädigung des Organs sich geltend zu machen beginnt, treten die genannten Abweichungen auf. Es rührt dieses von einer Organisation unseres Auges her, die auf der biologischen Notwendigkeit beruht, nicht die Farben, sondern die Dinge der Außenwelt zu erkennen und zu unterscheiden, wenn auch die bestehenden Lichtverhältnisse in sehr weiten Grenzen sich ändern. Um dies zu ermöglichen, besitzt

das Auge die bereits früher beschriebenen Anpassungseinrichtungen der Regenbogenhaut und der Netzhaut. Diese beiden Faktoren, die Verkleinerung der Iris bei zunehmender Lichtstärke, die eine entsprechend geringere Lichtmenge ins Auge treten läßt, sowie die Änderung in der Empfänglichkeit des nervösen Endapparates der Netzhaut für Lichtwirkungen — die Adaptation — darin bestehend, daß mit der zunehmenden Lichtstärke die Empfindlichkeit für dieses Licht geringer wird, heben die Wirkung der objektiven Lichtstärkenänderung zwar nicht völlig auf, machen aber die Funktion des Auges in solchem Maße unabhängig von dieser Größe, so daß das Gesamtergebnis eine weitgehende Indifferenz der Farbempfindung gegen die Lichtstärke ist.

Da die Grundempfindung des Gelb nach ihrer Wirkung auf unsere seelische Stimmung sich als Gefühl der Wärme geltend macht, bezeichnen wir den langwelligen Teil des Spektrums von dem genannten Grenzwert ab auch als den warmwelligen, und nach der umgekehrten Wirkung des das Gefühl der Kälte verursachenden Blau den kurzwelligen Teil des Spektrums als kaltwelligen.

Die Sättigung der bunten Spektrallichter. Von dem Merkmal der Helligkeit bzw. Dunkelheit der bunten Lichter des Spektrums ist wohl zu unterscheiden ihre Sättigung. Alle Spektralfarben sind gesättigt, d. h. sie erreichen den vollkommensten und höchsten Grad der Sättigung, oder was dasselbe ist, der Reinheit, und zwar deshalb, weil ihnen jede Spur einer Beimengung von weißen Lichtstrahlen fehlt. Im Gegenteil, sie stellen ja die völlige Zerlegung und sozusagen Auflösung des weißen Lichtes in seine einzelnen farbigen Bestandteile dar. Jede Zumischung von weißen Strahlen zu einem beliebigen bunten Spektrallicht vermindert seine Sättigung. Das bunte Licht erscheint zunehmend blasser und immer blasser, und der höchste Grad dieser Sättigungsverminderung ist erreicht, wenn der Farbton ganz verloren gegangen und in Weiß übergegangen ist. Weiß ist daher gewissermaßen der geringste Grad der Sättigung für jedes einzelne Spektrallicht. Daß mit der Sättigungsverminderung reiner Spektrallichter durch Zumischung von weißem Spektrallicht gleichzeitig eine Verminderung der Reinheit eintreten muß, geht schon daraus hervor, daß weißes Licht als solches nicht im Spektrum optisch rein vorhanden, sondern erst durch die Vereinigung verschiedenfarbiger

Lichter zustande kommt. Da alle Körperfarben mehr oder weniger starke Beimengungen von Weiß und Schwarz enthalten, sind sie im idealen Sinne weder „gesättigt" noch „rein". Reinheit und Sättigung spektraler Lichter sind demnach wohl zu unterscheiden von Lichtstärke (Intensität) oder Helligkeit bzw. Dunkelheit bunter Lichter

Die Gesetze der spektralen Lichtmischungen. Wenn alle bunten Lichter des Spektrums sich zu Weiß mischen lassen, so liegt es nahe, zu fragen, was sich aus den Mischungen nur eines Teiles des Spektrums bzw. einzelner bunter Lichtstrahlen ergibt. Die Resultate derartiger Mischungen haben das Bestehen ganz besonderer Gesetzmäßigkeiten in den Farben- oder richtiger Lichtmischungsverhältnissen aufgedeckt, die unsere physiologischen Kenntnisse und Vorstellungen über das Zustandekommen der normalen Farbenempfindungen (normalen Farbensinn) und ihrer Abweichungen (die Farbensinnstörungen) ganz wesentlich gefördert und erweitert haben und daher eine nähere Erwähnung finden müssen.

Bringt man nicht sämtliche durch das Prisma zerstreuten und dadurch unserem Auge in der bekannten Weise als verschiedenfarbig sichtbar gewordenen Strahlen zur Vereinigung zu Weiß, sondern nimmt man eine Strahlengattung, z. B. die uns r o t erscheinenden Lichter heraus, indem man diese vor ihrer Wiedervereinigung mit den anderen Strahlen durch Dazwischenbringen einer Prismakante gesondert abfängt und nur den Rest der gelben, grünen und blauen Strahlen wiedervereinigt, so sieht man auf dem Beobachtungsschirm an Stelle des bunten Spektrums neben den abgesonderten r o t e n nur ein Bild g r ü n e r Strahlen. Fängt man in ähnlicher Weise die U-blauen Strahlen gesondert ab, so erhält man neben diesen ein gelbes Bild. Wir erhalten also durch Mischung bzw. Wiedervereinigung nur eines Teiles der vorher durch das Prisma zerlegten bunten Lichter zwar ein anderes Bild, aber in einer Farbe, die bereits im Spektrum vorhanden ist, also keineswegs eine uns bisher unbekannte Farbe, und wir können, trotzdem die neue Farbe stets weniger gesättigt erscheint als die Komponenten, es ohne weiteres dem Lichtstrahl nicht ansehen oder sonstwie feststellen, ob es sich bei ihm um ein reines spektrales, durch einfache prismatische Zerlegung gewonnenes Licht handelt oder um das Resultat einer der geschilderten Lichtmischungen. Vereinigt

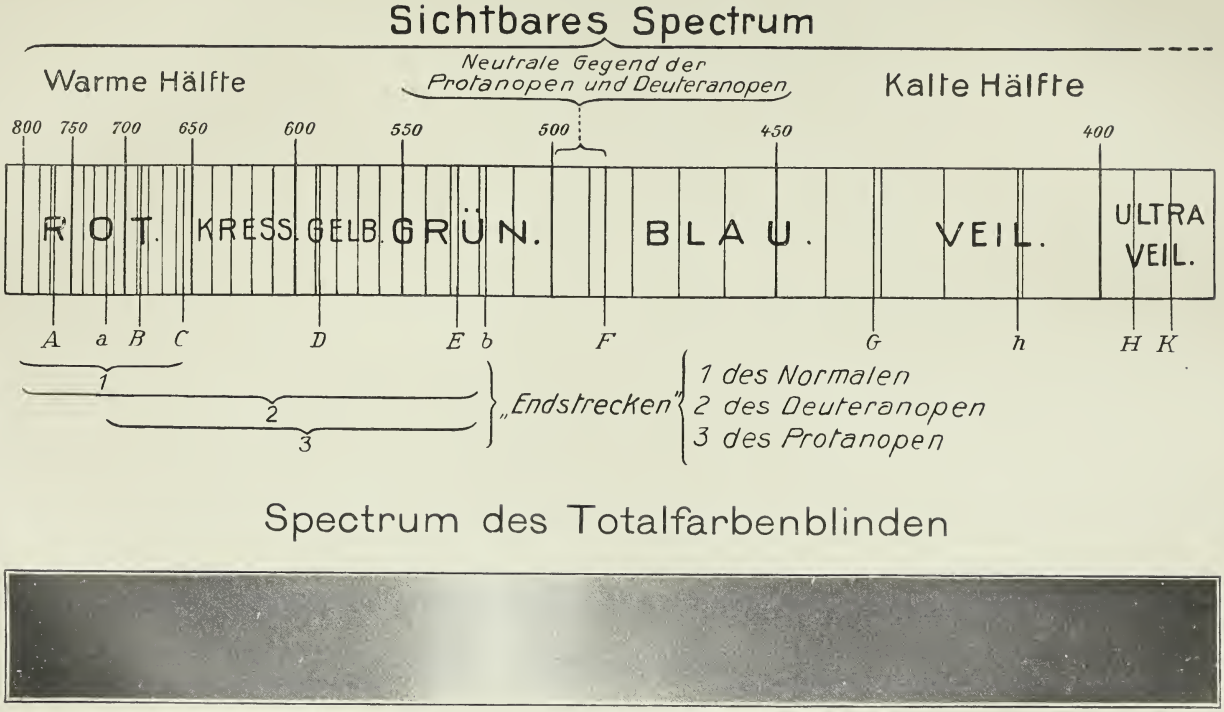
man nun die beiden durch die erwähnte Trennung gewonnenen Farbenpaare, die abgefangenen roten Strahlen mit den aus der Mischung der Reststrahlen erfolgten grünen, oder die abgefangenen Ublauen Strahlen mit den als Vereinigungsprodukt des Restes auftretenden gelben, so ergibt sich in beiden Fällen als Resultat dieser Mischungen wieder Weiß. Auch dieses weiße Licht läßt es trotz gewisser, einfacher, quantitativer Unterschiede, die von der verschiedenen Lichtstärke herrühren, ohne weiteres nicht erkennen, ob es durch Vereinigung sämtlicher spektraler Lichter, oder nur der grünen und roten, oder der gelben und blauen entstanden ist. In dieser Hinsicht ist also das menschliche Auge viel weniger empfindlich als das Ohr, welches wohl imstande ist, aus einem Akkord, der ja nichts anderes ist als ein dem Farbengemisch entsprechendes Tongemisch, die einzelnen, ihn zusammensetzenden einfachen Töne herauszuhören und genau zu bestimmen. Es ist dies aber keineswegs eine Unvollkommenheit, sondern ein physiologisches Erfordernis des Gesichtssinnes. Würde es fehlen, so könnten wir nichts anderes als ein buntes, regelloses Durcheinander verschieden bunter Lichter wahrnehmen. Indes können wir die Frage, ob es sich im gegebenen Falle um einen bunten Lichtstrahl von einfacher oder von zusammengesetzter Herkunft, also ein Lichtgemisch, handelt, dadurch beantworten, daß wir wieder sein Verhalten zu einem Prisma prüfen. Nehmen wir den oben erwähnten Fall, wo wir durch ein in den blauen Teil des Spektrums gebrachtes Prisma ein abgelenktes blaues und ein unabgelenktes gelbes Bild erzielten, welch letzteres also ein Gemisch aller Spektralfarben abzüglich des Blau darstellte, so wird der abgelenkte blaue Strahl z. B., nochmals durch ein Prisma geschickt, unverändert in seiner bunten Eigenschaft bleiben. Bringt man dagegen die Prismakante so in das unabgelenkte gelbe Strahlenbündel, daß man die langwelligsten (roten) Strahlen dieses Bündels mit dem Prisma abfängt, so erscheint auf dem Beobachtungsschirm an Stelle des gelben ein unabgelenktes grünes und ein abgelenktes rotes Licht und auch diese drei bunten Strahlen Blau, Grün und Rot lassen sich wieder zu weißem Licht vereinigen. Ein in seiner Farbenqualität ebenso empfundener reiner, isolierter, gelber Lichtstrahl würde diese Trennung in grüne und rote Strahlen durch eine Prismakante nicht hervorrufen lassen, sondern unverändert gelb bleiben.

Es genügt also, zwei bunte Spektrallichter miteinander zu mischen,

um sofort in der Empfindung jede Farbenqualität vollkommen verschwinden zu lassen und einen weißen Lichteindruck zu erhalten. Ein Paar solcher einfacher, bunter Lichtstrahlen, die zusammen die Weißempfindung hervorrufen, sich also gegenseitig zu Weiß ergänzen, nennt man komplementäre oder Ergänzungslichter bzw. -farben, besser noch Gegenfarben; am bekanntesten sind die Gegenfarbenpaare Rot und Blaugrün, Gelb und Ublau, Gelbgrün und Veil.

Man erhält die Weißempfindung aber nicht nur bei der Mischung dieser eben genannten, besonders typischen Spektralfarbenpaare, sondern einer jeden Strahlenart von bestimmter Wellenlänge im Spektrum entspricht eine andere, die zu ihr „komplementär" ist, d. h. sie zu Weiß ergänzt, so daß Weiß sowohl durch die gleichzeitige Einwirkung aller sichtbaren Strahlen des Sonnenlichtes, als auch durch die Mischung einer unendlichen Zahl von Paaren einfacher Lichter erhalten werden kann, die einen bestimmten Unterschied der Wellenlängen aufweisen. Näheres s. Physikalische Farbenlehre, Kap. 9 u. 14.

Es war gesagt worden, daß die Mischungen einzelner bunter Lichtstrahlen, falls sie sich nicht, wie die der eben erwähnten Komplementärlichter zu Weiß ergänzen, stets die Empfindung einer Farbe hervorrufen, die bereits im Spektrum vorhanden ist. Dieser Satz findet indes eine Ausnahme. Entnehmen wir zur Mischung bunte Lichter aus den beiden Enden des Spektrums, nämlich Veil und Rot, so ergibt sich als Resultat eine ganz neue, bisher im Spektrum überhaupt noch nicht vertretene Farbenerscheinung, nämlich Purpur. Es ist die einzige neue Farbe, die sich durch Mischung aus den bekannten Spektrallichtern neu gewinnen läßt. Denn alle anderen im Spektrum anscheinend nicht vorkommenden und uns aus der Erfahrung des täglichen Lebens doch bekannten Farbtöne, wie Braun, Rosa usw. entstehen nur aus einem oder mehreren Spektrallichtern unter Zumischung von Weiß oder Schwarz. Prüft man den neugewonnenen Purpur auf seine Eigenschaft als Ergänzungsfarbe zu einem der anderen Spektrallichter hin, so findet man diese in der Tat in einem Grün von bestimmter Wellenlänge, das keine andere Gegenfarbe im Spektrum hat und sich nur mit Purpur gemischt zu Weiß ergänzt. Die durch den Zutritt von Purpur ergänzte Reihenfolge der Spektrallichter läßt sich, wie bekannt, anstatt wie bisher in der Gestalt des farbigen Spektralbandes, zur Er-



Verlag Unesma G. m. b. H. Leipzig

leichterung des Verständnisses und zur Versinnbildlichung der das Farbensystem kennzeichnenden Gesetzmäßigkeiten in Gestalt eines Kreises vorstellen und bildlich darstellen, wo Purpur die bisher im Kreise noch offene Lücke zwischen Rot und Veil schließt. In einem solchen Farbenkreise stellen sich die den Spektrallichtern in Farbton, Sättigung und Helligkeit möglichst entsprechend künstlich in Gestalt farbiger Aufstriche wiedergegebenen Farben ohne weiteres in ihrer stetigen Farbtonreihe und in einer solchen Anordnung dar, daß sich die Komplementärfarben einander stets gegenüberliegen, und man sieht, wie sie ihren Namen „Gegenfarben", als welche sie sich bekanntlich in der gleichzeitigen Wahrnehmung gegenseitig ausschließen, mit Recht verdienen. Auch die Helligkeitsverteilung auf die einzelnen Farben und ihre regelmäßige Ab- und Zunahme tritt in diesem Farbenkreise sinnfällig in die Erscheinung, und ebenso einleuchtend wird seine Einteilung auf Grund ihrer Wirkung auf das Gefühl in eine „warme" (Rot, Gelb, Grüngelb) und eine „kalte" Hälfte (Blaugrün, Blau, Veil).

Bleibt man bei der vorgestellten Anordnung der Spektralfarben in einem Kreise und nimmt zur Mischung zwei Lichter, die nicht so weit auseinanderliegen, daß sie sich als Gegenfarben zu Weiß ergänzen, so ergibt sich als Mischungsergebnis stets ein Licht, das einem der auf dem kürzeren Kreisbogen zwischen den beiden liegenden Lichter entspricht. So erhält man aus einer Mischung von rotem und gelbem Licht ein kresses Licht. Aus Rot und Grün lassen sich alle dazwischenliegenden Lichter der langwelligen Spektralhälfte (also Gelb und Kress), aus Grün und Ublau diejenigen der kurzwelligen Hälfte (also Eisblau und Seegrün), aus Rot und Blau die veilen Lichter und aus Rot und Veil, wie wir bereits sahen, die Purpurtöne mischen, und man erhält so wiederum den durch Purpur geschlossenen Kreis aller reinen Spektrallichter. Je größer der Abstand der beiden zwischen je zwei Gegenfarben liegenden Mischlichter ist, um so blasser wird die aus der Mischung entstehende Zwischenfarbe, während mit kleiner werdendem Abstand die Mischfarbe immer gesättigter wird.

Das normale trichromatische Farbensystem. Die optischen Gleichungen. Beschränkt man die Mischung nicht auf ein Lichterpaar, sondern operiert man gleichzeitig mit drei verschiedenen aus be-

liebigen Stellen des Spektrums entnommenen Lichtern, so heben sich bei deren Mischung entweder zwei davon als Ergänzungsfarben zu Weiß auf, das sich nun mit der übrigbleibenden dritten Farbe mischt, oder aber es läßt sich durch ihre Mischung jeder einzelne aller überhaupt im Spektrum vorhandenen homogenen Farbtöne hervorrufen, wenn man nur die drei Lichter richtig wählt und, in verschiedenster Weise abgestuft miteinander mischt. Die dazu notwendigen Spektrallichter sind Rot, Laubgrün und Ublau, die wir schon neben Gelb als die wichtigsten Grund- oder Urfarben kennengelernt haben und die daher gewissermaßen als die Komponenten jedes normalen Farbensystems bezeichnet werden können, da wir ja alle überhaupt möglichen Farbenerscheinungen auf eine entsprechende Mischung dieser drei Lichtelemente zurückzuführen imstande sind. Natürlich gilt auch für diese drei Lichter Rot, Laubgrün und U blau, durch deren Mischung man alle im Spektrum vorkommenden und überhaupt denkbaren Farbtöne herstellen kann, daß sie zweckentsprechend und passend gewählt werden müssen, und aus geeigneten Mischungen dieser drei Farben kann man auch die vollendete Sättigung jedes einzelnen Farbtones bis herab zur völligen Farblosigkeit erhalten. Die im richtigen Verhältnis erfolgende Mischung dieser drei Lichter ergibt wieder Weiß. Auch durch die Mischung von mehr als drei Lichtern erhalten wir keine anderen Reizerfolge als durch die Mischung der genannten drei Lichter, wenn wir nur bei ihnen einerseits den Farbton, d. h. die Wellenlänge der einfachen Lichter, andererseits das Verhältnis der Mischungen dieser Lichter mit einem unbunten Gemisch (die Sättigung) und die Lichtstärke dieses Gemisches (seinen Helligkeits- bzw. Dunkelheitsgrad) entsprechend ändern. Wir können so mittels der Mischungsgleichungen (s. w. u.) das Farbensystem eines jeden einzelnen Individuums, d. h. die Gesamtheit aller Farbenempfindungen, deren er überhaupt fähig ist, in der Weise bestimmen, daß wir durch das ganze Spektrum hindurch feststellen, welche Lichter und Lichtmischungen den einzelnen homogenen Lichtern desselben gleich aussehen. Eine derartige Nebeneinanderstellung zweier oder dreier verschiedener Lichtmischungen, die die gleiche Farbenempfindung hervorrufen, obwohl der eine Lichtreiz von einem einfachen, homogenen Licht, der andere von einem Lichtgemisch aus zwei oder mehr verschiedenen homogenen Lichtern herrührt, bezeichnet man als eine optische oder Farbenglei-

chung. Unter Umständen können wir bei verschiedenen Individuen objektiven Verschiedenheiten in der Feststellung solcher Farbengleichungen begegnen, ohne Rücksicht darauf nehmen zu brauchen, ob die subjektiven Farbenbenennungen, die den Farbengleichungen zuerkannt werden, dieselben sind oder verschiedene. Wir können uns nämlich auch die Existenz von Farbengleichungen zwischen nur zwei verschiedenen Lichtreizen vorstellen, die beide von je einem homogenen

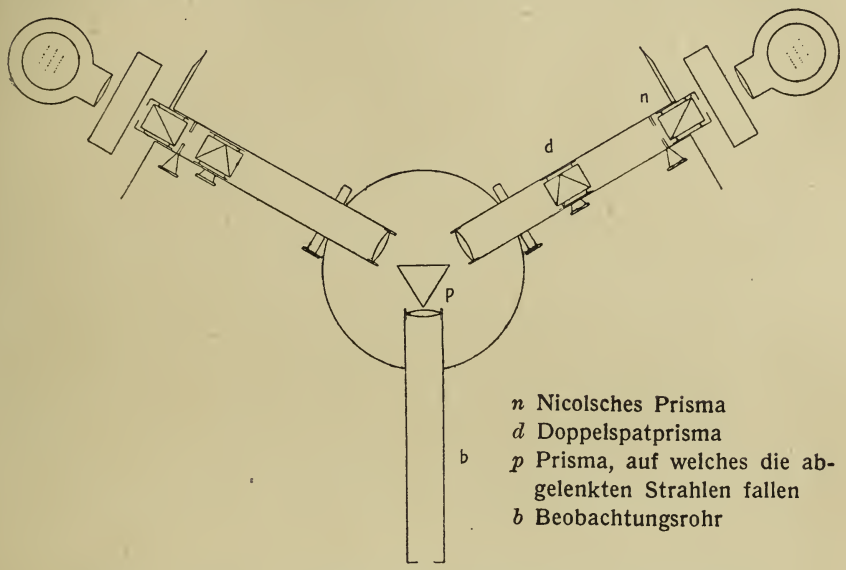


Fig. 23. Helmholtzscher Farbenmischapparat (nach König).

Licht (oder auch von je einem Lichtgemisch) herrühren, aber dann würde man es nicht mehr mit dem bisher charakterisierten normalen Farbensystem zu tun haben, da bei diesem alle einfachen, homogenen Lichter sich ja durch eine noch so geringe Änderung ihres Farbtones voneinander unterscheiden, eine Gleichung also nicht oder höchstens bei Lichtern von annähernd gleichen Wellenlängen auftreten kann. Das Verhalten der optischen Gleichungen gibt daher einen brauchbaren Maßstab ab für die vergleichende Beurteilung der Einwirkung bunter Eindrücke auf das menschliche Sehorgan. Individuen, die mit einem dergestalt als normal geschilderten Farbensystem ausgestattet sind, wie es bei der großen Mehrheit aller Menschen der Fall ist, nennt

man Trichromaten (Dreifarbenseher); ihr Farbensystem ist ein trichromatisches (dreifarbiges), da bei ihnen mindestens drei verschiedene homogene Lichter notwendig sind, um mit ihnen für jedes einzelne Spektrallicht eine entsprechende Farbengleichung zu erzielen.

Der Helmholtzsche Farbenmischapparat. Die Gesetze der quantitativen Lichtmischungen, deren Ergebnisse die Grundlage für die Kenntnis vom Aufbau des Farbensinnes und der Farbensysteme bilden, werden mittels besonderer spektraler Apparate, am zweckmäßigsten mit dem von v. Helmholtz angegebenen Farbenmischapparat (siehe Fig. 23) bestimmt.

In ihm werden spektrale Lichter von verschiedener Brechbarkeit mit anderen Lichtgemischen oder mit einem beliebigen, einfachen, homogenen Licht gemischt.

Vor der Lichtquelle befindet sich ein Nicolsches Prisma *n*, welches gradlinig polarisiertes Licht liefert, von dem der außerordentliche Strahl zum Verschwinden gebracht ist.[1]) Durch ein zweites Doppelspatprisma tritt nur polarisiertes Licht in zwei senkrecht aufeinanderstehenden Ebenen, so daß, wenn das Nicolprisma auf 0° eingestellt ist, das polarisierte Licht nur in der einen Ebene das Doppelspatprisma passieren kann, während bei einer Einstellung des Nicolprismas auf 90° das polarisierte Licht durch das Doppelspatprisma nur in der anderen Ebene durchtreten kann. Zwischenstellungen zwischen 0° und 90° gestatten eine beliebige Änderung des Mengenverhältnisses der beiden Strahlen zueinander. Die das Doppelspatprisma verlassenden Strahlen treten nicht parallel, sondern auseinanderlaufend aus. Sie müssen daher bei größerer oder geringerer Annäherung an das in der Mitte des Apparates befindliche Prisma *p* auf zwei Punkte an dessen brechender Fläche treffen, die je nachdem näher oder entfernter zueinander liegen. Blickt man durch das Rohr *b* auf die andere Kante des Prismas, so gelangen von der ersten Fläche, auf welche die beiden Lichtstrahlen fallen, nur solche Strahlen einfachen Lichtes, die einer aus der Brechkraft des Prismas sich ergebenden Verteilung des spektralen Farbenbandes entsprechen. Während das letzte Prisma also die farbige Übersetzung der Lichter vermittelt, ändert das Doppelspatprisma die beiden zu mischenden Lichter je nach ihrer Brechbarkeit, während das Nicolsche Prisma die Mengenanteile der beiden Lichter bestimmt. Damit nun zwei dergestalt gewonnene Lichter miteinander verglichen werden können, findet sich auf der anderen Seite eine gleiche Vorrichtung, die das Licht durch das Prisma in die andere Hälfte des Beobachtungsfeldes schickt. Das runde, etwa 1,5° haltende Beobachtungsfeld besteht also aus zwei halbkreisförmig nebeneinanderliegenden Teilfeldern, von denen das eine von einem be-

[1]) Die Beschreibung des Apparates ist aus W. Lohmann, Die Störungen der Sehfunktionen entlehnt.

stimmten homogenen Lichte, das andere von einem Lichte von in seinen Mengenanteilen wechselnder Zusammensetzung erleuchtet wird. Der Beobachter vergleicht nun die beiden Feldhälften miteinander. Man verändert die Zusammensetzung der Lichter und ihre Lichtstärke so lange, bis die beiden Feldhälften völlig gleich, d. h. sowohl in ihrer Farbe als auch in ihrer Helligkeit bzw. Intensität gesehen werden.

Eine derartige Nebeneinanderordnung qualitativ verschiedener Lichtreize, welche die gleiche Farbenempfindung hervorrufen, bezeichnet man ganz allgemein als Gleichung, einerlei, ob sie nur von homogenen Lichtern oder auch — als Mischungsgleichung — von Lichtreizen herrühren, von denen einer oder auch beide von einem Lichtgemisch gebildet werden.

Die Eichung des Spektrums. Die quantitative Untersuchung der Lichtmischungsverhältnisse wird gewöhnlich in Form der sogenannten „Eichung" des Spektrums vorgenommen. Die Ergebnisse der Eichung lassen sich in Gestalt von Tabellen und Kurven zahlenmäßig und graphisch (siehe unten) darstellen, da sie ja nichts anderes als die Bestimmung der Mengenanteile der Spektrallichter bedeutet, welche zur Mischung notwendig sind, um die gleiche Farbenempfindung hervorzurufen wie die Reihe der übrigen homogenen Spektrallichter. Die Mischlichter heißen „Eichlichter"; die sich für die Mengenanteile ergebenden Reizwerte nennt man „Eichwerte"; ihre Eintragung in ein Koordinatensystem stellt eine „Eichwertkurve" dar. Die übereinandergetragenen Kurven zeigen demnach an, welche Lichter und Lichtgemische die gleichen Farbenempfindungen auslösen wie die einzelnen homogenen Spektrallichter oder Lichtgemische, ohne aber über die bunte Beschaffenheit der einzelnen Lichter und Lichtgemische etwas Näheres auszusagen und überhaupt mit der richtigen oder falschen Beurteilung der bunten Beschaffenheit dieser Empfindungen vorläufig etwas zu tun zu haben.

Mittels der Eichwerte läßt sich auch die Länge der Endstrecken des Spektrums ablesen und feststellen; denn so lange nur die Werte eines einzigen Mischlichtes positiv sind, also nur ein Eichwert vorhanden ist, so lange ist noch keine Mischung der Eichlichter notwendig geworden.

Die Untersuchung muß Gleichungen herzustellen gestatten zwi-

schen einem meßbar veränderlichen Gemisch aus mehreren Spektrallichtern — aus der Mitte und den beiden Enden des Spektrums — einerseits und jedem einzelnen von all den verschiedenen homogenen Spektrallichtern andererseits. Selbstverständlich muß dabei auch die Stärke der Lichter meßbar verändert werden können. Die Eichung gibt stets nur die Verhältnisse für das Spektrum einer bestimmten Lichtquelle wieder, auch ist das Ergebnis von dessen Fächerung abhängig. Die Größe des Objektfeldes soll einen durchschnittlichen Durchmesser von nicht mehr als 2° aufweisen. Die Gradeinteilung der Apparate muß vorher genau daraufhin kontrolliert werden, welchen Wellenlängen der homogenen Lichter sie entspricht. Man bestimmt nun zuerst über das Spektrum hin mehrere feste Punkte mit Hilfe des Lichtes, welches die Salze einiger Elemente (Lithium, Natrium, Thallium, Strontium) ergeben; die dazwischenliegenden Wellenlängen findet man durch Rechnung. Die Untersuchung selbst setzt sich aus einer Reihe von Einzelbestimmungen bzw. Gleichungen zwischen den verschiedenen Mischlichtern zusammen, die lediglich in ihrem Mischungsverhältnis und ihrer Gesamthelligkeit geändert werden dürfen. Während nun die eine Hälfte des Objektfeldes von den Mischlichtern erhellt wird, stellt man in die andere nacheinander homogene Lichter ein, etwa 12 bis 18 über das Spektrum verteilt, ohne dabei die Intensität dieser homogenen Lichter bzw. die Spaltweite, welche sie beeinflußt, zu ändern, sondern nur diejenige des Lichtgemisches. Man läßt am besten jedesmal von dem Beobachter für jedes homogene Licht eine Einstellung des Lichtgemisches machen, bis der Farbton und die Helligkeit der beiden Felder genau für ihn übereinstimmen und stellt gegebenenfalls die Mittelwerte aus mehreren Einstellungen fest. Hierdurch legt man für einzelne bestimmte Wellenlängen die entsprechenden Punkte der Skala fest, an der die Verschiebung, sei es des Okularspaltes, sei es des Kollimatorrohres oder die Drehung des Prismas abgelesen wird. Für die übrigen Wellenlängen kann man dann graphisch interpolieren, indem man auf Millimeterpapier die Teilstriche der Skala als Abszissen, die Wellenlängen als Ordinaten aufträgt. Hat man für eine genügende Zahl von Wellenlängen die zugehörigen Teilstriche bestimmt und die ihnen entsprechenden Punkte im Koordinatensystem eingetragen, so kann man diese Punkte durch eine Kurve verbinden und somit auch die übrigen Wellenlängen zu den Teilstrichen in die richtige Beziehung setzen.

Die Ausführung einer solchen Eichung geht etwa folgendermaßen vor sich:

Man erleuchtet die eine Hälfte des runden Objektfeldes mit einem homogenen Lichte von z. B. 500 (blaugrün) und die andere mit einem Gemisch aus einem langwelligen und einem kurzwelligen Licht, z. B. 670 (rot) und 450 (blau). Dieses Zweifarbengemisch wird so lange im Mischungsverhältnis und Helligkeit verändert, bis beide Feldhälften als völlig gleich empfunden werden. Sind zur Mischung z. B. 10 Teile Rot und 40 Teile Blau erforderlich gewesen, die an dem Apparat ab-

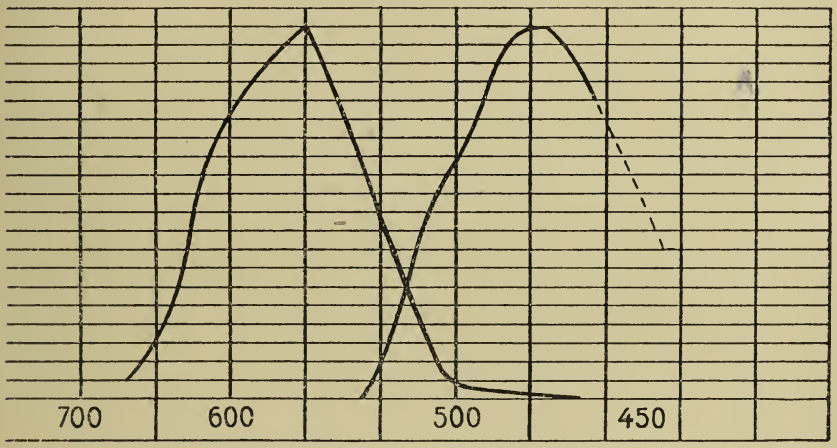


Fig. 24. Eichwertkurve bei Protanopie (nach Köllner).

zulesen sind je nach der Einstellung, dann stellen 10 und 40 die beiden Eichwerte für das Licht 500 dar. In derselben Weise wird die Bestimmung für eine ganze Reihe von homogenen Lichtern, für gewöhnlich etwa 12 bis 18, wiederholt. Die Beobachtungen erfolgen bei mäßiger Helladaption.

Auf diese Weise erhält man für jedes homogene Licht die entsprechenden Eichwerte, die man entweder in einer Tabelle für die einzelnen Spektrallichter untereinander schreibt oder auf die oben erwähnte Weise in Kurvenform sich graphisch veranschaulicht.

Man erhält dann so viel Eichwertkurven, wie Eichlichter vorhanden sind. Für das normale trichromatische Farbensystem sind dies stets drei, weil, wie wir schon sahen, zu jedem beliebigen Spektrallicht ein ihm gleich aussehendes Gemisch aus drei passend gewählten

Spektrallichtern hergestellt werden kann, und zwar können wir aus Spektralrot, Grün, Blau bzw. Veil die ganze Reihe der spektralen Farbtöne erhalten, wenn nur das Mischungsverhältnis der drei Lichter richtig geändert wird.

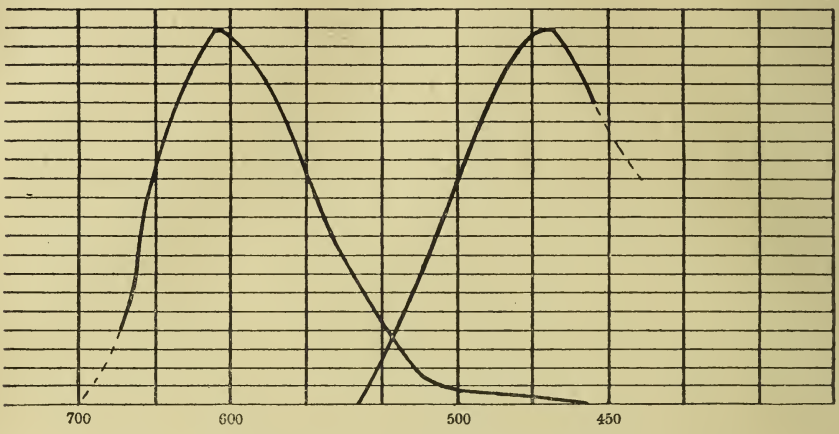


Fig. 25. Eichwertkurve bei Deuteranopie (nach Köllner).

Die Lichtmischungsverhältnisse nun, wie wir sie in Gestalt der aus den Mengenanteilen der genannten drei Lichter gewonnenen Eich-

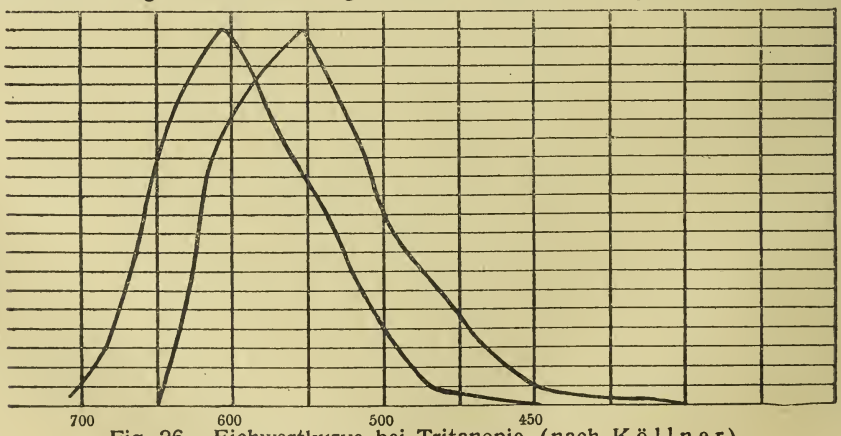


Fig. 26. Eichwertkurve bei Tritanopie (nach Köllner).

wertkurven zur bildlichen Veranschaulichung bringen, wiederholen sich, abgesehen von gewissen individuellen Schwankungen, bei allen mit einem normalen Farbensehen begabten Menschen in ganz derselben typischen Art, und die von einzelnen Beobachtern erzielten abweichen-

den Ergebnisse hängen zum Teil von den Versuchsanordnungen, zum Teil von der großen technischen Schwierigkeit ab, der die direkte Eichung des normalen Farbensystems mit einem Gemisch von drei Lichtern unterliegt. In Fig. 24—26 sind die gesetzmäßig stets wiederkehrenden Empfindungskurven in Gestalt der Eichwertkurven für jedes der drei Eichlichter wiedergegeben. Die Zahlen der Abszissenlinien entsprechen den Wellenlängen der homogenen Lichter in milliontel Millimetern.

Unter allen Umständen ist daran festzuhalten, daß die Eichwertkurven nur die graphische Darstellung für die Mengenanteile wiedergeben, welche zu der Dreilichtermischung notwendig sind, oder mit anderen Worten, für das Verhältnis, in welchem die drei Lichter gemischt werden müssen, um die gleiche Farbenempfindung auszulösen wie die Reihe der homogenen Lichter. Das Ergebnis ist also lediglich von der Farbenempfindung abhängig und kann sich mit dieser ändern, auch wenn die Erregbarkeit der Netzhaut andauernd ungestört bleibt. Über die Beschaffenheit dieser Empfindungen sagen sie aber nichts aus. Auch mit den später zu erwähnenden drei theoretischen „Komponenten" des Farbensehens, etwa im Sinne der Helmholtzschen Farbensinntheorie, hat die Eichung der Farbensysteme nicht das Geringste zu tun. Des weiteren ist noch einmal daran zu erinnern, daß man wohl von einfachen und zusammengesetzten Lichtern im physikalischen Sinne sprechen kann, nicht aber in diesem Sinne von einfachen und zusammengesetzten Farben. Denn es ist dem Auge unmöglich, zu unterscheiden, ob z. B. ein Gelb von einem homogenen Lichte von etwa 590 herrührt oder von einer Mischung von mehreren anderen Lichtern bzw. Lichtgemischen. (Nach Köllner und nach Rosmanit.)

Die Lichtmischungsgesetze. Das Farbendreieck. Die in den drei Kurven dargestellten, für das normale trichromatische System geltenden Mischungsgesetze lassen sich nach Graßmann folgendermaßen ausdrücken:

1. Jede beliebig zusammengesetzte Mischung muß gleich aussehen wie die Mischung eines bestimmten gesättigten Lichtes mit Weiß.

2. Wenn von zwei zu vermischenden Lichtern das eine sich stetig ändert, ändert sich auch das Aussehen der Mischung stetig.

3. Gleich aussehende Lichter (Farben), gemischt, geben gleich aussehende Mischungen.

Die besprochene Gesetzmäßigkeit, daß jedes beliebige Lichtgemisch der Kombination eines bestimmten Gemisches mit irgendeinem einfachen Licht (einschließlich der Purpurtöne) gleichwertig ist, wird am sinnfälligsten mittels einer sog. Farbentafeldarstellung, dem Helmholtzschen „Farbendreieck" veranschaulicht. Da man auf Grund der eben erwähnten Mischungsgesetze jeder Mischung zweier Lichter geometrisch ihren Ort auf einer diese beiden Lichter verbindenden geraden Linie anweisen kann, so folgt daraus, daß die sämtlichen Mischungen dreier

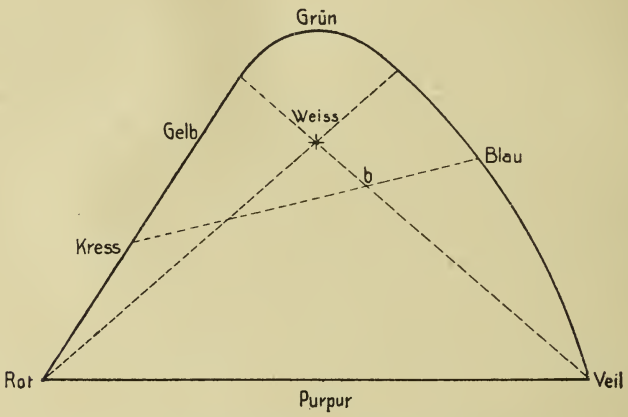


Fig. 27. Farbendreieckstafel nach Helmholtz.

Lichter in einer Ebene darstellbar sind. Entwerfen wir die sämtlichen gesättigten homogenen Lichter vom Rot bis zum Veil auf einer gekrümmten Linie und verbinden deren Endpunkte durch eine gerade Linie, so gelangen wir hierdurch zu der geschlossenen Figur der Farbendreieckstafel nach Helmholtz (s. Fig. 27). In dieser sind alle durch irgendmögliche Lichtkombinationen herstellbaren Lichtgemische in irgendeinem dem Farbendreieck angehörigen Punkt darstellbar, m. a. W., es läßt sich jede durch irgendwelche Lichtmischungen überhaupt erzielbare Reizart durch einen bestimmten, dem Dreieck angehörigen Punkt veranschaulichen. Die Umrißlinie des Dreiecks kommt dann auf folgende Weise zustande: Die bei Rot beginnende Krümmungslinie verläuft zuerst in gerader Richtung entsprechend dem Umstand, daß im

Beginn des langwelligen Spektralbereichs die Mischungen zweier Lichter einem einfachen Licht von einer mittleren dazwischenliegenden Wellenlänge im Farbton gleich erscheinen. Bei der Annäherung an den grünen Spektralbereich von mittlerer Wellenlänge kommt es zu einer immer stärker werdenden Krümmung der Begrenzungslinie des Dreiecks, die sich im weiteren Verlauf mit wieder schwächer werdender Krümmung nach dem veilen Ende zu bis nach Veil hin erstreckt. Demnach werden die drei Ecken von den reinen Lichtern Rot, Grün und Veil eingenommen. Die linke Dreiecksseite zeigt die homogenen Lichter von Rot bis Grün, die rechte Seite diejenigen von Grün bis Veil, während auf der Basis die Purpurtöne liegen. Im Inneren des Dreiecks befinden sich die durch Weiß getrübten ungesättigten oder „verhüllten" Farben, deren Maximum, das reine Weiß, an denjenigen Punkt des Inneren zu liegen kommt, welcher den Schnittpunkt aller der Geraden bildet, deren Enden die Gegenfarben einnehmen. Dieser Punkt Weiß entspricht demnach den farblosen Gemischen, wie sie sich durch ein in passendem Mengenverhältnis gemischtes Paar von Gegen- bzw. Ergänzungsfarben ergeben, und diese werden durch jede einen beliebigen Punkt der Umrißlinie mit dem Punkt Weiß verbindende und darüber hinaus bis zur entgegengesetzten Dreiecksseite durchgezogene Gerade dargestellt. Wie aus der Tafel unmittelbar ersichtlich ist, wird mit abnehmender Wellenlänge des einen Bestandteils der Ergänzungsfarbe auch der andere immer kurzwelliger. Da das äußerste Veil im Spektrum seine Ergänzung im grünlichen Gelb hat, so folgt, daß eine Reihe einfacher Lichter, die dem grünen Spektralteile angehören, keine einfachen Ergänzungslichter besitzt, sondern durch die im Spektrum nicht vertretenen Purpurtöne zu Weiß ergänzt wird. Die geradlinig verlaufende linke Seite bedeutet, daß die Gemische von Rot bis Gelbgrün ebenso wie die reinen gesättigten Spektrallichter aussehen, da die Verbindungslinie zweier ihrer Punkte hier mit der Begrenzungslinie zusammenfällt. Durch die leicht gekrümmte rechte Seite wird zum Ausdruck gebracht, daß die Mischung von zwei auf ihr gelegenen Farben keine völlig gesättigte Farbe gibt; denn die Verbindungslinie zweier ihrer Punkte fällt in die Fläche des Dreiecks, welche nur ungesättigte, mit Weiß verhüllte Lichter repräsentiert.

Das Farbendreieck gestattet ferner — und zwar im Sinne einer Schwerpunktskonstruktion — eine Berechnung der Mengen, welche von zwei Farben genommen werden müssen, um eine bestimmte Mischfarbe zu erhalten. Die Abstände zweier Ergänzungsfarbenpunkte vom Weißpunkte sind z. B. derart, daß die Abstände umgekehrt proportional den Mengen sind, welche zusammenwirken müssen, um Weiß zu ergeben. Mit anderen Worten: Denkt man sich die betreffenden Mengen durch Gewichte dargestellt und diese an den Enden der Geraden wirkend aufgehängt, dann liegt Weiß im Schwerpunkt dieses Systems. Stellt z. B. der Punkt b ein bestimmtes verhülltes Blau dar, welches aus reinem Blau (B) und Kreß (Kr) gemischt werden soll, so muß sich B: Kr = Kr . b: B . b verhalten. So anschaulich eine derartig konstruierte Farbentafel trotz der einigermaßen willkürlichen Wahl des Ortes für die drei Lichter R, Gr und V ist, indem sie die Gesamtheit sämtlicher überhaupt vorkommenden Reizarten darstellt, so ist doch zu betonen, daß sie nur die direkt beobachtbaren physiologischen Gleichwertigkeiten objektiv verschiedener Lichter in systematischer Weise zum Ausdruck bringt, und insofern zwar eine anschauliche Darstellung einer wichtigen Tatsachengruppe gibt, aber keineswegs eine theoretische Grundlage über die Natur der physiologischen Vorgänge bilden kann. Immerhin wird auch hierdurch die bereits mehrfach erwähnte Tatsache bestätigt, daß die Gesamtheit der physiologischen durch das Sehorgan vermittelten Wirkungen eine weit beschränktere Mannigfaltigkeit aufweist als diejenige der die Wirkungen hervorrufenden Reize; m. a. W., daß das Sehorgan die Mannigfaltigkeit der Lichtreize nur mit einer um vieles beschränkteren Mannigfaltigkeit der Empfindungen beantwortet.

Siebentes Kapitel.

Die Theorien über das Zustandekommen der bunten Empfindungen.

Die Komponenten des Farbensinnes. Die Tatsache, daß trotz der großen Zahl der überhaupt möglichen Farbenempfindungsqualitäten physikalisch ganz verschiedene Lichtreize in Gestalt der homogenen Lichter und Lichtgemische eine völlig gleiche Farbenempfindung (Sehqualität) in durchaus gesetzmäßiger Weise hervorrufen, drängte zu der Vorstellung, daß das Licht in unserem Sehorgane direkt nur eine kleine Zahl ganz bestimmter Teilerregungen auslöst, deren Zusammenwirken erst das eigentliche Farbensehen herbeiführt. Die Qualität der gesehenen Farbe Rot, Grün usw. hängt dann nur ab von dem Grade und dem Verhältnisse, in welchem die vorausgesetzten Teilerregungen sich zueinander an dem Sehakte beteiligen. Dadurch gelangen wir zu einer wesentlichen Vereinfachung unserer Vorstellungen vom Farbensinn, denn anstatt mit der großen Zahl der einzelnen verschiedenen homogenen Lichter oder deren Mischungsmöglichkeiten haben wir es nur noch mit einigen wenigen leicht übersehbaren Erregungsvorgängen zu tun. Diese Erregungsvorgänge bezeichnen wir ganz allgemein als „Komponenten“ des Farbensinns, ohne diese Begriffe mit irgendwelchen bestimmten anatomischen Vorstellungen im Sehorgan in Beziehung zu setzen. Natürlich wird man nicht mehr solcher Komponenten vorauszusetzen brauchen als notwendig und ausreichend sind, um alle Tatsachen des Farbensehens, besonders die Lichtmischungserscheinungen, zu erklären. Auf Grund dieser Überlegungen können wir uns vorstellen, daß den drei Kurven, die den Mischungsanteil aus je einem langwelligen — roten —, einem kurzwelligen — Ublauen — und einem Licht von mittlerer Wellenlänge — Laubgrün — versinnbildlichen, der für das Zustandekommen einer jeden uns überhaupt

möglichen Farbenempfindung notwendig ist, im Sehorgan drei Grundelemente in Gestalt von drei Komponenten entsprechen, durch deren geordnetes Zusammenwirken im analogen Sinne zu den in den Kurven dargestellten Anteilswerten für jedes einzelne der drei Lichter die ganze Mannigfaltigkeit der Farbenempfindungen bedingt wird. Mit diesen Vorstellungen betreten wir das schwierige Gebiet der Frage nach dem Zustandekommen der Farbenempfindungen. Wie kann ein Lichtstrahl von einer bestimmten Wellenlänge oder ein Lichtgemisch, das unser Auge trifft, die Empfindung einer bestimmten Farbe in unserem Bewußtsein hervorrufen?

Die Young-Helmholtzsche Farbensinntheorie. Von den vielen im Laufe der Zeit aufgestellten Theorien lassen sich die bisher bekannten Tatsachen am einfachsten und verständlichsten mit der Young-Helmholtzschen Dreifarbentheorie erklären, zumal sie in guter Übereinstimmung mit dem obenerwähnten Dreifarbensystem steht. Allerdings reicht auch sie nicht aus, um allen Tatsachen restlos gerecht zu werden.

Wir sahen, daß die Verschiedenheit in der Wellenlänge der Lichtstrahlen sich im Bewußtsein als Farbenempfindung äußert. Anstatt nun, wie es wohl nahe läge, für alle die bekannten verschiedenen Farbenempfindungen entsprechend viele verschiedene Reizvorgänge anzunehmen, führen uns die Gesetze der Lichtmischungen zu der einfachen Vorstellung der genannten drei verschiedenen Erregungsvorgänge im Auge als „Komponenten des Farbensinnes", deren geregeltes Zusammenwirken das normale Farbensehen herbeiführt. In Übereinstimmung mit dem Dreifarbensystem, auf Grund dessen wir ja ähnlich wie bei der Farbenphotographie aus einer passenden Mischung der drei Komponenten Rot, Laubgrün und Ublau alle und jede nur mögliche Farbenwirkung zur Geltung bringen können, hätten wir es in der Netzhaut mit drei Arten besonderer für die roten, grünen und blauen Strahlen empfindlicher photochemischer Substanzen zu tun, mit denen jedes einzelne zu bunten Empfindungen befähigte Element des lichtperzipierenden Netzhautapparates versehen sein sollte. Diesen drei für die roten, grünen und Ublauen Strahlen empfindlichen chemischen Substanzen würden in der Hirnrinde drei verschiedene Arten perzipierender Nervenzellen entsprechen. Jede dieser drei Substanzen

wird durch alle Arten bunten Lichtes erregt, aber in verschieden starker Weise. Wir bezeichnen sie einfach als Rot-, Grün- und Blaukomponente und nehmen an, daß die erste dieser drei Komponenten vorwiegend durch langwelliges — rotes — Licht, weniger durch grünes und am schwächsten durch blaues, die zweite hauptsächlich durch grünes Licht von mittlerer Wellenlänge, und die dritte vornehmlich durch kurzwelliges — blaues — Licht erregt wird. Von dem tatsächlichen Vorhandensein der drei ausgezeichneten Farbengebiete, des Ublau, Grün und Rot, kann man sich praktisch überzeugen, wenn man ein kurzes Spektrum betrachtet, wie es beispielsweise in den üblichen Taschenspektroskopen innerhalb des Gesichtsfeldes vollständig übersehen werden kann. Ein solches Spektrum zerfällt in ein rotes, gelbgrünes und Ublaues Feld, zwischen denen die Übergänge ziemlich schnell erfolgen, ohne daß sie als besondere Farbtöne empfunden werden. Diese drei Gebiete entsprechen den Grundfarben, welche Helmholtz und Young in ihrer Theorie als die primären Farbenempfindungen angesprochen haben. Die Tatsachen gestatten demnach eine bequeme und unmittelbare Deutung im Sinne dieser Farbentheorie: Die so stark vorwiegenden Empfindungen Rot, Grün und Blau müssen auf Grund von Reizen fundamentaler oder primärer Natur erfolgen, während die zurücktretenden Zwischenfarben sekundäre Ergebnisse gemischter Reize sind. Die Erregung der ersten Komponente hätte danach die Empfindung „Rot", die der zweiten „Grün" und die der dritten „Blau" zur Folge. Die isolierte Erregung einer einzelnen Komponente ruft die Empfindung einer entsprechenden, besonders gesättigten und reinen Farbe hervor. Bei nahezu gleich starker Erregung aller drei Komponenten wird die Empfindung „Weiß", bei völliger Ruhe die Empfindung „Schwarz" ausgelöst. Ferner können durch gleichzeitige, aber verschiedenartige, oder richtiger, verschieden abgestufte Erregung von zwei oder drei Komponenten alle überhaupt denkbaren Farbenempfindungen zustandekommen. Wird z. B. die Grün- und Rotkomponente gleichzeitig in bestimmter Weise erregt, so resultiert die Gelbempfindung usw. Diese Einwirkungen lassen sich, wie die Mischungsanteile bei den Farbenmischungsgesetzen, schematisch durch ein Kurvensystem gut veranschaulichen (siehe Fig. 28). Auf den Abszissen sind die verschiedenen

Farben des Spektrums angeordnet, während die Ordinaten die Stärke und den Grad der Erregung durch jedes der drei Lichter wiedergeben und so die Empfindlichkeit der drei Nervenfaserelemente als Komponenten des Farbensinns für Lichter verschiedener Wellenlänge dar-

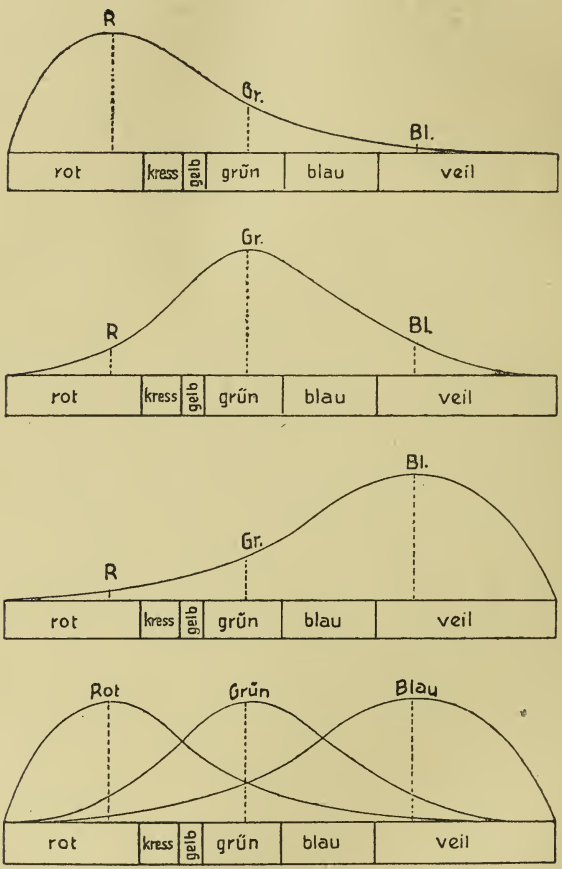


Fig. 28. Die drei Erregbarkeitskurven des trichromatischen Systems.

stellen. Auf dem vierten Kurvenbild sind die Kurven der drei Komponenten auf derselben Abszisse angeordnet, um ihr Zusammenwirken zu veranschaulichen. Das rote Licht *R* erregt die rotempfindende Komponente am stärksten, die grünempfindende schwächer und die blauempfindende am geringsten. Wir empfinden Rot, weil die Er-

regung der Rotkomponente die der anderen überwiegt. In ähnlicher Weise erregt ein grünes Licht *Gr* die Grünkomponente stärker als die anderen und ruft die Grünempfindung hervor, und dasselbe gilt für die Blauempfindung. Hiermit stimmt die Tatsache überein, daß die Wahrnehmung der Farben auch innerhalb des normalen Gesichtsfeldes verschieden ist. Man muß daher ebenso wie bei der Sehschärfe zwischen zentraler und peripherer Farbenwahrnehmung unterscheiden. In den äußersten Teilen des Gesichtsfeldes, entsprechend den nur mit Stäbchen ausgestatteten am meisten nach außen von der Zentralgrube gelegenen Netzhautpartien findet überhaupt keine Farbenwahrnehmung statt. Diese Teile der Netzhaut sind daher stets „total farbenblind", und bunte Gegenstände, die sich auf ihnen abbilden, erscheinen nur in den verschiedenen Helligkeitsabstufungen des Grau. Von der Peripherie aus nach der Zentralgrube zu nimmt die Farbenwahrnehmung entsprechend der Zunahme der Zapfen ganz allmählich und gleichmäßig, aber nicht für alle Farben gleichzeitig zu und ist am intensivsten in der Netzhautgrube selbst. Am größten, ausgedehntesten ist das bunte Gesichtsfeld für blaue Farbtöne. Diese werden also am frühesten und allein von den äußersten Teilen des Gesichtsfeldes wahrgenommen. Dann folgt das Gesichtsfeld für gelbe, alsdann gesellt sich dasjenige für rote und endlich das für grüne Farbtöne hinzu, so daß Grün erst zuletzt und nur in der Nähe der Netzhautgrube zur Wahrnehmung der übrigen Farbtöne hinzutritt. Von diesen Tatsachen kann man sich leicht überzeugen, wenn man bei geradeaus sehendem Auge von den Seiten her langsam bunte Gegenstände, z. B. entsprechend gefärbte Siegellackstangen, vor das Auge bringt. Alle erscheinen in den Seitenstellungen zuerst grau; ihre bunte Empfindung tritt erst, je nach der Farbe, früher oder später auf, wenn man die Objekte entsprechend nahe in die Blickrichtung des Auges gebracht hat. Es besitzt daher, wie für die Sehschärfe, so auch für das Farbenempfindungs- und -unterscheidungsvermögen die zapfenreiche Gegend der Netzhautgrube die feinste Empfindlichkeit.

Auf diese Tatsachen begründete man die Annahme, daß von den Zapfen die Farbenempfindungen bzw. die Wahrnehmung der qualitativen Lichtunterschiede, während von den Stäbchen die Wahrnehmung der Intensitätsunterschiede des Lichtes abhinge. Danach würden die Stäbchen den nervösen Empfangsapparat darstellen, der das Däm-

merungssehen beherrscht und die Zapfen, besonders die Gegend der Netzhautgrube, das Tagsehen mit den bunten Gesichtsempfindungen vermitteln. Mit diesen Annahmen stimmt gut überein, daß bei einer Anzahl von Nachttieren die Zapfen in der Netzhaut fehlen, während bei einigen nur im hellsten Licht lebenden Reptilien die Netzhaut fast nur mit Zapfen versehen ist. Es besteht demnach zwischen Schwarz, Grau und Weiß kein qualitativer, sondern nur ein quantitativer Unterschied.

Jedenfalls ist in den Zapfen das am weitesten entwickelte und differenzierte Element der Netzhaut zu erblicken, und es ist nicht unwahrscheinlich, daß bei dem entwicklungsgeschichtlichen Fortschritt die unbunten Empfindungen den bunten vorausgegangen sind. Dann würden aber die unbunten Erregungen auf einfacheren und ursprünglicheren Prozessen beruhen, die von den entwicklungsgeschichtlich später aufgetretenen bunten Erregungen ganz unabhängig sind.

Herings Theorie der Gegenfarben. Diesen Voraussetzungen wird die Heringsche Theorie der Gegenfarben hinlänglich gerecht, außerdem läßt sie sich auch mit den Tatsachen der Lichtmischungen in guten Einklang bringen. Die Heringsche Farbensinntheorie beruht auf den Empfindungen, die wir bei der Betrachtung einer besonders gesättigten Farbe haben. Sie geht gegenüber den drei Grundfarben von Young-Helmholtz von den vier, in zwei Paaren auftretenden reinen Grundfarben Rot und Grün, Gelb und Blau aus, die allein als reine Urfarben eine einfache, ungemischte, durch die Mitwirkung keines anderen Farbtons beeinflußte Empfindung in unserem Bewußtsein hervorrufen und keine anderen Farben gleichzeitig miterkennen lassen, während alle anderen Farbtöne eine mehr oder weniger gemischte Empfindung entsprechend ihrer Zusammensetzung aus den vier Grundfarben erregen. Die beiden Farben jedes Paares sind Gegenfarben, weil sie niemals gleichzeitig in ihrer Eigenfarbe empfunden werden können, sich vielmehr in der Empfindung gegenseitig ausschließen. Zu diesen vier bunten Grundqualitäten der Gesichtsempfindungen kommen als fünfte und sechste die Schwarz- und die Weißempfindung. Die verschiedenen Grade der Sättigung und Helligkeit werden durch die gleichzeitige Empfindung ihres relativen Anteils an Weiß hervorgerufen, besitzen also neben der farbigen „Valenz“ noch

eine weiße Valenz, die den reinen Grundfarben abgeht. In den Nervenelementen der Netzhaut wird das Vorhandensein von drei verschiedenen „Sehsubstanzen" angenommen, welche durch die Einwirkung des Lichtes chemische Veränderungen erleiden. Diese sind entgegengesetzter Art, je nachdem die Sehsubstanzen durch das Licht zersetzt und verbraucht („dissimiliert") oder erneuert („assimiliert") werden. Die weiße Valenz wirkt auf eine schwarz-weiß empfindende erste Sehsubstanz dissimilierend ein, bei Abwesenheit von Licht findet Assimilierung statt mit dem Resultat der Schwarzempfindung. Eine zweite Sehsubstanz ist die rot-grüne, die nur durch solche Lichter assimiliert oder dissimiliert wird, welche die entsprechende Valenz haben, und dasselbe gilt für die dritte, die blau-gelbe Sehsubstanz. Es treten somit bei Überwiegen der dissimilatorischen Prozesse die Empfindungen Weiß, Rot und Gelb, bei Überwiegen der assimilatorischen Prozesse die Empfindungen Schwarz, Grün und Blau auf. Veil wirkt sowohl auf die rot-grüne als auch auf die blau-gelbe Substanz ein. Von dem Vorherrschen der einen oder anderen bunten Valenz hängt das Überwiegen der Dissimilation über die Assimilation und umgekehrt ab. Halten sich die bunten Einwirkungen auf die Sehsubstanz das Gleichgewicht, so heben sich ihre bunten Valenzen auf und es bleibt nur die Einwirkung auf die Schwarz-Weißsubstanz übrig. Auf diese Weise kommt durch die entsprechende Mischung der Gegenfarben die unbunte Empfindung Weiß oder Grau infolge Mischung von Schwarz und Weiß zustande. Wenn, wie angenommen wird, das Sehorgan eine viel größere Menge Weiß-Schwarzsubstanz als Rot-Grün- und Gelb-Blausubstanz enthält, sind auch die Zersetzungs- und Erneuerungsvorgänge in der unbunten Substanz umfassender als in den beiden anderen bunten Substanzen. Daher treten die bunten Empfindungen nur unter besonderen günstigen Verhältnissen auf, während sie für gewöhnlich mit gleichzeitigen unbunten, ihre Sättigung vermindernden Empfindungen einhergehen. Die Größe der Erregungen in jeder der drei Sehsubstanzen hängt außer von der Stärke des Reizes auch noch von der Erregbarkeit dieser Substanzen selbst ab.

Schencks Entwicklungstheorie. Eine dritte, von Schenck neuerdings aufgestellte Theorie sucht die Vorteile der beiden näher beschriebenen Theorien unter Vermeidung ihrer Mängel zu vereinigen

und kann als „Entwicklungstheorie des Farbensinnes" bezeichnet werden. Sie berichtigt unter Beibehaltung der drei Komponenten nach Young-Helmholtz die Stellung des Blau als der dritten Komponente, wodurch der qualitative Unterschied zwischen den drei Komponenten ein gleichmäßigerer wird, so daß man sämtliche Zwischenfarben des Spektrums in der vollkommensten Weise erhält. Sie läßt die drei Sehsubstanzen je aus zwei Teilen bestehen, von denen der eine den Lichtreiz empfängt und überträgt und der andere die Empfindung erregt. Der erste ist die Determinante der Helligkeit, der zweite Teil diejenige der Farbe. Der erste erklärt die Gleichförmigkeit der Helligkeitsempfindung in den verschiedenen Netzhautzonen, der zweite die Unterschiede, welche diese Abschnitte hinsichtlich der Farbenwahrnehmung aufweisen. Die funktionelle Differenzierung für die Farbenwahrnehmung zwischen den zentralen und den peripheren Netzhautzonen erklärt sich dadurch, daß die Zapfen zwar die drei Sehsubstanzen gleichmäßig enthalten, aber in einem von ihrer Länge abhängigen, verschiedenen Erregbarkeitsgrade. Ursprünglich war in den Zapfen nur eine mit der in den Stäbchen für das Dämmerungssehen dienenden verwandte Sehsubstanz vorhanden, deren Erregung die Empfindung Weiß auslöst. In einer zweiten Entwicklungsperiode fand eine Erweiterung der Sehsubstanz dahingehend statt, daß sie nunmehr auch für Lichtschwingungen von größerer Wellenlänge empfindlicher wurde. Noch später kam es zu einer Zweiteilung der ursprünglichen Weißsehsubstanz in eine vorwiegend durch langwellige Lichter erregbare, die Empfindung Gelb, und in eine durch kurzwelliges Licht besonders erregbare, die Empfindung Blau auslösende Substanz. Schließlich teilte sich die Gelbsubstanz noch einmal in eine die Empfindung Rot und eine die Empfindung Grün vermittelnde Sehsubstanz, deren gleichzeitige Erregung wieder die Empfindung Gelb liefert, ebenso wie die gleichzeitige Erregung von Gelb und Blau Weiß ergab. Trotzdem diese Theorie für die Erklärung der später zu erwähnenden Farbensinnstörungen von besonderem Werte ist und den beiden anderen gegenüber einen gewissen Fortschritt bedeutet, der auch durch ihre relative Kompliziertheit nicht beeinträchtigt wird, vermag doch auch sie noch nicht allen Anforderungen zur Erklärung des bisher bekannten Tatsachenmaterials völlig gerecht zu werden.

Die v. Kriessche Zonentheorie. Eine Vereinigung der Helmholtzschen und der Heringschen Theorie strebt v. Kries in dem Sinne an, daß er die unmittelbaren Farbenempfindungen im Auge in dreikomponentiger Weise, die zentralen im Gehirn sich abspielenden Erscheinungen in einer der Gegenfarbentheorie entsprechenden Weise gegliedert sein läßt. Er stellt sich demnach die Bildung des farbentüchtigen Anteils des Sehorgans nicht in einheitlicher Weise, sondern als einen in den verschiedenen hintereinander geschalteten Abschnitten in verschiedener Weise vor sich gehenden Vorgang vor und hält die Grundvorstellungen sowohl der Dreikomponenten- als auch der Vierfarbentheorie in einem gewissen, wenn auch nur beschränkten Umfange für zutreffend. Die drei mutmaßlichen Komponenten des Farbensehens charakterisiert er im allgemeinen dahin, daß sie irgendwelche Besonderheiten des physiologischen Geschehens bedeuten, bezüglich deren Hervorrufung „die verschiedenen Lichter in der durch die Valenzkurven gegebenen Weise gleichwertig sind und die jedenfalls insoweit eine gewisse Selbständigkeit haben müssen, daß ihr Fehlen ein zufolge der allgemeinen biologischen Verhältnisse ermöglichtes Vorkommnis ist". Über diese Formulierung hinaus sind auch die vielen neueren Theorien nicht gediehen, und man wird sich mit dieser allgemeinen Vorstellung vorläufig begnügen müssen.

Was die zentralen, d. h. im Gehirn sich abspielenden Vorgänge anlangt, so kann man nach v. Kries ebensogut wie an die assimilatorischen und dissimilatorischen Vorgänge, mit Donders an dissoziative Vorgänge denken, bei denen hochzusammengesetzte Moleküle teilweise, symmetrisch oder unsymmetrisch, zerspalten werden, wenn man nicht lieber von der Vorstellung solchen chemischen Geschehens ganz absehen und die Möglichkeit räumlicher Bewegungs-, d. h. Schwingungsvorgänge gelten lassen will. Es würde sich dann um Erregungsvorgänge handeln, die mit den Lichtwellenlängen stufenweise veränderlich sind, indem sie zugleich eine annähernd periodische Funktion der Wellenlänge darstellen (Wundt).

Fröhlichs Oszillationstheorie. Von vergleichenden Untersuchungen der im Gebiet des Gesamtnervensystems sich abspielenden

Vorgänge einerseits und der in den lichtempfindlichen Elementen der Netzhaut lokalisierten Prozesse anderseits ausgehend, ist Fr. W. Fröhlich ganz neuerlich bestrebt, die Gesamtlehre vom Licht- und Farbensinn auf eine von den bisher erwähnten Theorien wesentlich abweichende neue Grundlage zu stellen. Er verfolgt mit seiner Theorie gleichzeitig die bisher noch ungelöst gebliebene Aufgabe, den Zusammenhang der mit der Lichtempfindung im Auge einhergehenden Vorgänge mit den im Zentralnervensystem herrschenden zu ergründen. Nach seiner Auffassung rufen die Wirkungen der Umwelt wie bei den anderen Sinnesorganen, so auch im Gebiet des Licht- und Farbensinnes rhythmisch-oszillierende Erregungsvorgänge hervor, deren Weiterleitung — ebenfalls nur in Gestalt oszillierender Erregungen — dem zugehörigen Sinnesnerv, dem Sehnerv, obliegt. Für diese vom Auge durch den Sehnerv weitergeleiteten, sowohl ihrer Frequenz als auch ihrer Intensität nach verschiedenen Erregungswellen, seien die spezifisch reagierenden Nervenzentren im Gehirn in besonderer Weise „abgestimmt". Dieser als „Sehzentrum" bereits näher beschriebene (s. S. 17) im Hinterhauptlappen des Großhirns gelegene Anteil des Zentralnervensystems kommt allein als Sitz der spezifischen Funktion des Lichtsinnes in Betracht. Eine Differenzierung des Lichtreizes muß aber notwendigerweise bereits in der Netzhaut zustande kommen; sie soll nach Fröhlich derart erfolgen, daß die Lichter verschiedener Wellenlänge in den nervösen Netzhautelementen oszillierende Erregungsvorgänge verschiedener Frequenz hervorrufen und zwar in dem Sinne, daß die frequentesten Erregungswellen die Empfindung Weiß, die etwas weniger frequenten die Empfindung der kurzwelligen und die am wenigsten frequenten Erregungswellen diejenige der langwelligen Lichter hervorrufen. Die Art und Weise, in welcher das Sehzentrum auf die verschieden starken und verschieden schnellen Erregungswellen antwortet, stellt eine Funktion des spezifisch reagierenden Sehzentrums dar. Diese Funktion besteht in einer Differenzierung der Erregungswellen, derart, daß sich Erregungs- und Hemmungsvorgänge antagonistischer Art in feinsten Abstufungen abspielen und als solche die physiologischen Bedingungen für das Zustandekommen des normalen Farbensehens abgeben. Sind diese Erregungs- bzw. Hemmungsvorgänge ihrem Umfange oder ihrer Art nach infolge geringeren

Differenzierungsvermögens oder anders gearteter Erregbarkeit beschränkt, so kommt es je nach der Größe dieser Beschränktheit nicht zur normalen Farbenempfindung, sondern unter den entsprechenden Ausfallserscheinungen zu einer der Reduktionsformen des normalen Farbensinnes in Gestalt einer der später näher zu beschreibenden Störungen des Farbensinnes. Der Sitz dieser verminderten Differenzierungsfähigkeit wäre bei den angeborenen Farbensinnstörungen sowohl in den lichtempfindlichen Elementen der Netzhaut, als auch im Sehzentrum zu suchen, während die Formen der erworbenen Farbenblindheit durch ein geringeres Differenzierungsvermögen infolge krankhafter Störung entweder nur in der Netzhaut oder im Sehzentrum oder in der dazwischenliegenden Nervenleitung zustande kämen. Bei der totalen Farbenblindheit (s. S. 173) fiele die Wirkung der Wellenlänge des Lichtes als differenzierte Reizfrequenz ganz in Fortfall und es bliebe nur die Wirkung der Lichtenergie und ihrer Absorption.

Was die Vorgänge im Sehzentrum, als dem Sitz der die Empfindung des Lichtes und der Farben hervorrufenden spezifischen Reaktionen, anlangt, so würde die Rot- und Gelbempfindung einer Verstärkung, die Grün-, Blau- und Weißempfindung einer verschieden starken Hemmung des Erregungszustandes des Sehzentrums entsprechen. Durch die von seiner Hemmung wohl zu unterscheidende Herabsetzung des Erregungszustandes käme die Empfindung Schwarz zustande, an der außerdem noch die Kontrastwirkung beteiligt ist.

Alles in allem ist zu sagen, daß keine der bisher entwickelten Anschauungen über das Zustandekommen der bunten Empfindungen als Theorie, die die Gesamtheit der Tatsachen einer einheitlichen Auffassung gemäß befriedigend zu erklären vermag, sondern nur als zusammenfassende Darstellung der bisher bekannten Tatsachen maßgebende Geltung beanspruchen kann. Solange eine erschöpfende Theorie dieser Funktionen des Sehorgans noch nicht möglich ist, müssen wir uns begnügen, die zahlreichen tatsächlichen Befunde unter allgemeine Gesichtspunkte zu bringen und in solcher Weise ordnend zusammenzufassen (v. K r i e s).

Natürliche Farben der Körper und Flächen. In derselben Weise, wie die durch das Prisma zerlegten weißen Sonnenstrahlen von unserem

Auge als verschieden bunt wahrgenommen werden, erscheinen sämtliche Körper und Gegenstände im Raum in ihren verschiedenen Farben. Nur sind es hier nicht die selbständig leuchtenden Strahlen, wie sie von der Sonne, den Gestirnen, von verbrennenden, glühenden, phosphoreszierenden Körpern und Organismen ausgehen, sondern die von den hiervon beleuchteten Gegenständen diffus zurückgeworfenen (reflektierten) Strahlen, welche die Farbenempfindung in unserem Auge bzw. Gehirn auslösen, einerlei, ob es sich dabei um bunte Farbtöne (Rot, Grün usw.) oder um die unbunte, tonfreie Empfindung von Schwarz und Weiß mit ihren zahlreichen Zwischenstufen (Grau) handelt. Die von uns so genannten F a r b e n der Gegenstände, welche selbst kein Licht aussenden, entstehen dadurch, daß von den im weißen Licht enthaltenen Strahlen nur ein Teil an der Oberfläche der bunten Körper zurückgeworfen oder bei durchsichtigen Gegenständen von ihnen hindurchgelassen, ein anderer Teil dagegen aufgesaugt oder v e r s c h l u c k t (absorbiert) wird. Ein weißer Körper ist also ein solcher, welcher alle bunten Strahlen in gleicher Weise zurückwirft oder durchläßt. Ein roter Körper wirft von allen im weißen Licht enthaltenden Strahlen nur die roten diffus zurück und verschluckt alle anderen, ein gelber die gelben u. s. f., und so erscheint jeder Körper in der Farbe derjenigen Strahlen, die er nicht verschluckt, sondern entweder zurückwirft oder durch sich durchgehen läßt. Schwarz erscheinen die Körper, die alle sichtbaren Strahlen verschlucken, also keine Strahlen aussenden oder zurückwerfen, die die Netzhaut zu erregen vermögen. Man kann daher jeden beliebigen bunten Körper dadurch schwarz erscheinen lassen, daß man die bunten Lichtstrahlen, die er zurückwirft, vor ihrem Auftreffen auf den Körper durch einen durchsichtigen Körper, z. B. Glas von entsprechender Färbung, aufsaugen oder „schlucken" läßt. Die durchsichtigen Körper unterscheiden sich ja nur dadurch von den undurchsichtigen, daß sie je nach dem Grade ihrer Durchsichtigkeit einen mehr oder weniger großen Teil der Lichtstrahlen durch sich hindurchgehen lassen. Ein weißer, durch einen unbunten durchsichtigen Körper, z. B. eine Glasscheibe, gehender Lichtstrahl erleidet keine Änderung seiner Eigenschaften und durch ein Prisma geschickt, erzeugt er das gewohnte Farbenspektrum. Lassen wir indes einen Lichtstrahl durch einen durchsichtigen, aber bunt erscheinenden Körper, z. B. eine beliebig gefärbte Glasscheibe gehen und untersuchen

nun seine prismatische Zerlegung, so erscheint ein solches Spektrum nicht mehr vollständig, sondern weist Lücken auf, die vollkommen dunkel sind und es erscheint in ihm nur noch die Farbe, welche die eigene Farbe des durchsichtigen Glases bildet, sowie die ihr benachbarten. Diese Erscheinung rührt davon her, daß der durchsichtige bunte Körper nur einen Teil der in ihn eindringenden Lichtstrahlen hindurchläßt, einen anderen Teil aber verschluckt, und zwar erscheint der durchsichtige Körper in der Farbe derjenigen Lichtstrahlen, welche beim Eintritt in ihn nicht zurückgehalten, sondern durchgelassen werden, also wieder austreten.

Die Schluckungsspektra. Ein durch diesen Vorgang der Schluckung (Absorption) entstehendes Spektrum nennt man Schluckungsspektrum, wobei es natürlich auf den Aggregatzustand und die sonstige Beschaffenheit des durchsichtigen, festen (Glas, Steine), biegsamen oder flüssigen Körpers (Wasser, chemische Lösungen) nicht ankommt. Auch kann ein Schluckungsspektrum aus mehreren hintereinandergelegten durchsichtigen Körpern zustande kommen, da der zweite usw. Körper seine schluckende Wirkung noch auf den Rest der Strahlen auszuüben vermag. Nur sehr wenige Körper, Flüssigkeiten lassen aber lediglich diejenigen Strahlen durch, die anscheinend allein ihre Farben bedingen, sondern meist auch noch eine Anzahl ihnen benachbarter. So z. B. schluckt ein gelbes Glas nur die blauen und veilen Strahlen und läßt neben den gelben auch noch alle roten und grünen durch, ein blaues fängt die roten und gelben ab, läßt aber neben den blauen noch die veilen und sogar einen Teil der grünen durch. Stellt man nun das blaue Glas hinter das gelbe, so treten aus dem gelben Glas neben den gelben noch rote und grüne Strahlen in das blaue Glas, von diesen werden die roten und gelben Strahlen verschluckt und es treten nur die grünen durch. Es ist also auf diese Weise ein durch blaue und gelbe Gläser gegangener Lichtstrahl infolge der Schluckung grün geworden, und zwar gewissermaßen durch Subtraktion, indem der Rest der grünen Strahlen die Differenz des weißen Lichtes abzüglich der zwei Schluckungen darstellt.

Eine ähnliche Lichtmischung können wir durch Summierung bzw. Addition erreichen, indem wir irgendein weißes Licht durch je eine nebeneinandergestellte, in den Grundfarben Rot, Grün und Dunkel-

blau passend gefärbte Linse schicken und die entsprechenden durchgelassenen Lichtstrahlen in Gestalt bunter Kreise auf einem Schirm derart wieder vereinigen, daß sich die dreifarbigen Lichtkreise schneiden. Das Mischungsergebnis ist in Fig. 28 veranschaulicht. Wo alle drei Kreise sich überlagern, also in der Mitte, erhält man Weiß. Wo rote und grüne Kreisteile übereinanderliegen, ergibt sich Gelb, bei Rot und Blau Purpur und bei Blau und Grün Blaugrün. Daraus folgt weiter, daß man das Weiß auch aus je zwei Farben schon erhalten kann, nämlich aus den Gegenfarben Gelb und Blau, Purpur und Grün und aus Blaugrün und Rot. Man kann ferner beweisen, daß das Weiß sich hier nur aus den drei Grundfarben, also nicht aus allen Farben zusammensetzt,

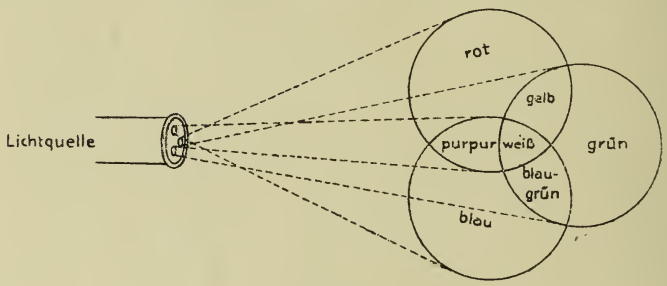


Fig. 29.

indem man einen kleinen schattengebenden Körper, z. B. einen Bleistift, vor die Linse hält und die Farben des Schattens prüft. Vor die grüne Linse gehalten, erscheint der Schatten auf dem mittleren weißen Felde purpurrot, vor die rote Linse gehalten, ist er grün, vor die blaue gehalten, gelb gefärbt. An die Stelle der Mischung aus den drei Lichtern Rot, Grün und Blau zu Weiß ist in dem Bereich des Schattens eine Mischung von nur zwei Lichtern getreten. Auch die noch fehlenden Hauptfarben des Spektrums können wir, und zwar durch geeignete Abschwächung der einzelnen Lichter erzeugen, wenn auch nicht in der vollkommenen Weise wie bei den reinen Spektrallichtern.

Übrigens bestehen noch weitere Möglichkeiten der Lichtmischung Da das Auge empfangene Lichteindrücke eine gewisse kurze Zeit festhält, so daß es zeitlich unterbrochene Eindrücke als stetig empfindet, was der Fall ist, wenn die Unterbrechung eine gewisse Zeitdauer von etwa 30 bis 40 Lichtwechseln in der Sekunde nicht übersteigt, so verschmilzt der Lichtwechsel zu einem stetigen Farben-

eindruck, dessen Beschaffenheit mit derjenigen übereinstimmt, welche diese Lichtmenge bei ununterbrochener Einwirkung auf das Auge hervorbringen würde. Lassen wir demgemäß zwei oder mehr verschiedenfarbige Flächen mit der genannten Geschwindigkeit auf das Auge wirken, so empfindet dieses einen stetigen Farbeneindruck, welcher der Mischung beider Farben nach Verhältnis der jeweiligen Einwirkungsdauer genau entspricht. Auf diesem Prinzip beruht die Anwendung des bekannten Farbenkreisels zur Herstellung von Mischfarben.

Diesem auf die Schwelle der zeitlichen Unterschiedsempfindlichkeit sich gründenden Mischverfahren entspricht ein ähnliches auf räumlichen Verschiedenheiten beruhendes, die unter der Empfindlichkeitsschwelle bleiben. Infolge des anatomischen Baues der die Empfindung vermittelnden nervösen Netzhautelemente, der Zapfen in der Sehgrube, welche um gewisse endliche Distanzen voneinander entfernt stehen, vermag das Auge Unstetigkeiten im Gesichtsfelde, deren Sehwinkel unterhalb des Betrages von einer Minute liegt, nicht mehr voneinander zu unterscheiden. Bietet man daher dem Auge die zu mischenden Farben in solcher Anordnung dar, daß die einzelnen Elemente der verschiedenen Farben einen kleineren Sehwinkel als eine Minute haben, so erzeugt man ebenfalls einen stetigen Eindruck, welcher genau der additiven Mischung der gegebenen Farben entspricht. Bekanntlich hat sich eine besondere Richtung unter den Malkünstlern, die Pointillisten, des Effektes derartiger Farbenmischungen mit Erfolg zu bedienen verstanden.

Die Emissionsspektra. Wenn wir so festgestellt haben, daß die bunten Erscheinungen der eben gekennzeichneten Lichtstrahlen auf Schluckungsvorgängen beruhen, so kann das offenbar für die vielen Lichtquellen, die selbst bunt erscheinendes Licht aussenden, nicht zutreffen. Solche bunte Lichtquellen erhält man am einfachsten, wenn man gewisse Metallsalze in einer nicht selbst leuchtenden Gasflamme, z. B. in einem sogenannten Bunsenschen Gasbrenner zum Erhitzen und Verdampfen bringt. So erhält man durch Hineinbringen von Chlorlithium ein helleuchtendes rotes Licht, von Chlorthallium ein grünes, von Zäsium ein blaues und von Natrium sulfuricum (Glaubersalz) ein gelbes Licht. Die Spektra solcher gefärbter Gasflammen erscheinen nun keineswegs

in der bekannten Form des farbigen Spektralbandes, sondern lediglich als eine Reihe von einigen wenigen getrennten, hellen, verschieden bunten Linien oder Streifen, und zwar weist jedes solcher verdampfenden Salze eine oder mehrere durch ihre Farbenqualität, Stärke, Lage und Ausdehnung wohl charakterisierte Linien auf. Die betreffende Flamme enthält also nicht Licht von allen möglichen Strahlengattungen, sondern nur von einigen wenigen, manche sogar nur von einer einzigen homogenen Art, wie z. B. der grüne Streifen des Thalliumlichtes. Derartige Spektra bezeichnet man als Emissionsspektra und die einzelnen hellen Linien, die auch bei geringerer Temperatur der Flamme noch erkennbar bleiben, werden nach dem betreffenden Salz kurz als Natrium-, Thallium- usw. Linie bezeichnet, mit denen man ohne weiteres den Begriff einer ganz bestimmten bunten Qualität verbindet. Natürlich kombinieren sich diese Linien entsprechend, wenn man gleichzeitig mehrere solcher Salze in ein und derselben Flamme verdampft; andererseits geben die verschiedensten Salze ein und desselben Metalls immer die gleichen Emissionsspektra. Man kann auch umgekehrt aus der Art und Lage der Linien eines aus bekannten Salzen gewonnenen Emissionsspektrums ohne weiteres auf das oder die in dem Salze enthaltenen Metalle schließen und auf diese Weise durch die Spektralanalyse, wie man ein solches Untersuchungsverfahren nennt, alle chemischen Substanzen auf das Vorhandensein solcher Metalle um so leichter analysieren, als sie sich schon in den geringsten Spuren nachweisen lassen. Nichts lag näher, als auch das Sonnenlicht spektralanalytisch zu untersuchen. In der Tat fand sich das ganze Sonnenspektrum von einer großen Anzahl mehr oder weniger breiter, feinerer und allerfeinster dunkler Linien durchzogen, die man nach ihrem Entdecker Fraunhofersche Linien nennt und deren stärkste und deutlichste man mit den Buchstaben *A* bis *H* zur leichteren Orientierung ihrer Lage im Spektrum bezeichnet. Diese dunklen Linien sind nichts anderes als Schluckungsstreifen des Sonnenlichtes und rühren her von den entsprechenden Metallsalzen, deren Existenz auf diese Weise in der dampfförmigen leuchtenden Hülle des weißglühenden Sonnenkernes nachzuweisen gelungen war. Man hat so in der Sonne nicht nur das Vorhandensein oder Fehlen einer ganzen Anzahl auf der Erde vorkommender einfacher, chemischer Körper, sondern

sogar ein Element, das Helium, neu nachweisen können, das bisher auf der Erde festzustellen noch nicht gelungen war. Der Versuch, der zu diesen wichtigen Feststellungen führte, war übrigens einfach genug. Man brauchte nur einen weißen Lichtstrahl, bevor man ihn durch ein Prisma in sein Spektrum auflösen ließ, durch eine mittels der erwähnten Metallsalze gefärbte Flamme gehen zu lassen, um im Spektrum stets den oder die dem betreffenden Metall zugehörigen dunklen Streifen zu finden. Durch diesen Versuch wurde bewiesen, daß jeder Körper gerade diejenigen bunten Lichtstrahlen schluckt, welche er aussendet.

Der Einfluß der Beleuchtung. Bezogene und unbezogene Farben. Wenn auch das Aussehen der Farben, denen wir in der Natur begegnen und die wir künstlich erzeugen, bestimmt wird durch den bunten Charakter derjenigen Lichtstrahlen, welche von den Körpern zurückgeworfen werden, und durch die gleichzeitige Schluckung aller übrigen Strahlen, so ist doch schon verschiedentlich betont worden, wie sehr die Farbenempfindungen variieren je nach der Art und Stärke der Beleuchtung, nach der Art und Dichtigkeit des Stoffes, der Beschaffenheit (Glätte) der Oberfläche, dem Grade der Durchsichtigkeit und der Schluckungsverhältnisse der verschiedenen Lichtstrahlen usw.

Von besonderer Wichtigkeit und in ihrer Bedeutung bisher vielfach verkannt ist die Beleuchtung für das bunte Aussehen der Farben. Jede bunte Erscheinung beziehen wir automatisch auf die Beleuchtung, unter der sie zustande kommt, und in bezug auf diese Beleuchtung empfinden und beurteilen wir sie. Bisher galt die Gesamtheit der bunten und unbunten Farben als durch eine dreifache Mannigfaltigkeit darstellbar, deren Veränderliche Farbton, Reinheit und Helligkeit wären. Zweckmäßiger ersetzt man den Begriff der Helligkeit durch denjenigen des Grau in seinen verschiedenen Mischungen aus Weiß und Schwarz. Vermöge der ersten Veränderlichen, des Farbtons, läßt sich eine gegebene Farbe durch Verschiebung über die sämtlichen Farbtöne des Farbenkreises in stetiger in sich geschlossener Mannigfaltigkeit wieder zu ihr zurückbringen. Sodann läßt sich jede Farbe für sich durch das Verhältnis zwischen buntem Farbanteil und Weiß ändern, so daß aus der gesättigten Farbe durch stetige Zumischung von Weiß immer unge-

sättigtere Farbtöne bis zum völligen Verschwinden des bunten Anteils und bis zum Eindruck Weiß entstehen. Die Anordnung der gesättigten Farbtöne in einem Kreise erweitert sich so zur Ausfüllung einer Kreisfläche mit den radiär nach der Mitte zu verlaufenden, immer ungesättigter werdenden Tönen, deren Mittelpunkt Weiß bildet. Wir sind zwar nicht fähig, den Mengenanteil der gesättigten bunten Farbe und des Weiß als solchen zu empfinden, wohl aber empfinden wir das Verhältnis des bunten und des weißen Anteils, das wir als Sättigungsgrad bezeichnen. Bei einigen Farben von allerdings nur ausnahmsweisem Vorkommen ist hiermit die Mannigfaltigkeit als eine nur zweidimensionale erschöpft, indem der wichtige dritte Anteil Grau fehlt. Daher bleibt bei diesen das unbunte Licht stets weiß und erscheint niemals grau, auch wenn man die einfallende Lichtmenge ändert, infolgedessen es nur heller oder dunkler wird; es fehlen ihm die trüben und die dunkelklaren Töne, wie Braun oder Graurosa oder Olivgrün, und man sieht nur reine oder hellklare, d. h. mit Weiß gemischte. Dieses System findet sich dort, wo eine Bezugnahme auf die Beleuchtung nicht stattfindet, weil die Ursachen dazu entweder nicht bestehen oder dem Beobachter nicht bekannt werden, wie dies z. B. bei den meisten optischen Apparaten der Fall ist, wo gleichförmig gefärbte Felder in einer im übrigen lichtlosen Umgebung erscheinen und deren Zweck gerade darin besteht, alle Störungen durch fremdes Licht fernzuhalten. Es leuchtet aber ohne weiteres ein, daß die bei den Fachmännern auch heute noch gelegentlich vertretene Meinung, daß man die Gesetze aller Farben an den unbezogenen Spektrallichtern feststellen könnte, den tatsächlichen Verhältnissen widerspricht. Im Gegensatz zu diesen unbezogenen oder bezugsfreien stehen die sogenannten b e z o g e n e n Farben der Körper und Flächen, die gemeint sind, wenn von Farben im gewöhnlichen Sinne des täglichen Lebens die Rede ist und auf die sich so gut wie ausschließlich unsere Farbeneindrücke beziehen. Wir nehmen sie stets unter Bezugnahme auf die Natur der Beleuchtung an den Gegenständen usw. der Außenwelt wahr und sie bilden daher den Hauptteil der gesamten Farbenlehre. Die bezogenen Farben besitzen, wie gesagt, als dritte Veränderliche ein Grau von bestimmter Helligkeit, welches durch das Verhältnis Weiß: Weiß plus Schwarz bestimmt wird und welches mit dem Farbton dessen Reinheit bestimmt. Jede von den drei

Veränderlichen kann sich unabhängig von den beiden anderen in dem ganzen Gebiet ihrer Möglichkeit bewegen. Für die Farbtöne ist dieses der Farbenkreis, für die Reinheit das Gebiet zwischen reiner oder gesättigter Farbe und der unbunten oder grauen Farbe, die durch ganz gleichförmige Vertretung aller sichtbaren Lichtarten gemäß der Zusammensetzung des weißen Sonnenlichtes gekennzeichnet ist. Für das Grau endlich liegt das Gebiet zwischen absolutem Schwarz und Weiß. Es ist wichtig, zu betonen, daß die bezogenen Farben mit ihrer dreifachen Mannigfaltigkeit nicht unmittelbare Ergebnisse der Lichteinwirkung auf unser Sehorgan sind, sondern „Produkte einer inneren Bearbeitung oder genauer gesagt, Zuordnung, durch welche wir an Stelle der absoluten Lichtstärke und ihrer Zusammensetzung aus Strahlen bestimmter Wellenlänge die Veränderungen empfinden, die das auffallende durchschnittliche weiße Licht vermöge der optischen Beeinflussung durch die Oberfläche der gesehenen Körper erfährt. Es gibt eine Anzahl psychophysischer Experimente, welche beweisen, daß ein und dasselbe farblose Licht von unveränderter Intensität je nach den Verhältnissen, unter denen es betrachtet wird, grellweiß, tiefschwarz und grau in allen möglichen Zwischenstufen erscheinen kann. Maßgebend hierfür ist nur der Umstand, daß wir das vom Auge aufgenommene Licht nicht unmittelbar, sondern im Verhältnis zu anderem Lichte beurteilen, welches wir gleichzeitig in demselben Gesichtsfelde wahrnehmen. Führt das Urteil zu der Annahme, daß von dem auffallenden Licht nur ein kleiner Teil zurückgeworfen wird, so werden wir die betreffende Stelle als schwarz ansehen. Führt es zu der entgegengesetzten Annahme, so werden wir sie als weiß beurteilen, und wenn wir einen mittleren Bruchteil des auffallenden Lichtes als zurückgesendet annehmen, so wird uns die Stelle grau erscheinen.“ (Ostwald, Beiträge zur Farbenlehre, Nr. 29.) Während im Gebiete der unbezogenen Farben ein Schwarz überhaupt nicht vorkommt, herrscht es unter den bezogenen Farben überaus häufig vor und ist hier durchaus nicht durch die Abwesenheit des Lichtes, sondern durch die Kleinheit der Rückwerfung gekennzeichnet, weshalb man sehr wohl von verschiedenen Graden und Tiefen des Schwarz reden kann. Dadurch erledigt sich auch die vielumstrittene Frage nach der Existenz des Schwarz als bezogene Farbe im bejahenden Sinne.

Die Tatsache, daß der früher behauptete Einfluß der wechselnden Lichtstärke auf den bunten Charakter der Farben nicht besteht, ist eine Folge der Organisation unseres Auges, die auf der biologischen Notwendigkeit beruht, nicht die Farben, sondern die Dinge der Außenwelt zu erkennen und zu unterscheiden, wenn auch die bestehenden Lichtverhältnisse in weiten Grenzen sich verändern.

Es war bereits kurz die Rede von der Wirkung bunter Eindrücke auf das Gefühl und der Unterscheidung „warmer" und „kalter" Farbentöne. Rot und Gelb sind die warmen Farben des Feuers und des Sonnenlichtes, Blau und Veil die des kalten Mondlichtes. Dazwischen steht Grün als Mittelfarbe, je nach dem Anteil von Gelb oder Blau sich den warmen oder kalten Farben anschließend. An einem trüben Tag erscheint die Landschaft, durch ein gelbes Glas betrachtet, heiter und sonnenbeschienen, durch ein blaues Glas gesehen, macht eine sonnige Landschaft den Eindruck der kalten Mondbeleuchtung. Warme Farben wirken lebhaft und die Stimmung anregend, kalte still, dämpfend, ja zur Trauer stimmend; es ist ein Gegensatz vergleichbar dem von Dur und Moll in der Musik. Die Verschiedenheit beider Gruppen wird natürlich nur durch den Farbton bestimmt und es tritt der Charakter um so mehr zurück, je mehr in einer Farbe der unbunte Teil überwiegt. Von zwei Gegenfarben ist stets eine warm und eine kalt, da beide Gruppen je die Hälfte eines Farbenkreises einnehmen. Die Ursache des Gegensatzes warm — kalt liegt darin, daß die kalten Farben nie im gleichen Grade der Reinheit herzustellen sind wie die warmen. Sie enthalten eine nicht entfernbare Trübung durch einen unbunten Anteil, der selbst bei den reinsten Farben des kalten Gebietes etwa ein Drittel beträgt.

Die Farbstoffe — die Pigmentfarben. Von allen diesen Regeln machen die von den Malern verwendeten Farbstoffe selbst, die dazu benutzt werden, anderen Körpern einen bestimmten bunten Charakter zu verleihen, natürlich keine Ausnahme; sie stellen ja, genau genommen, nichts anderes dar als selbständige, aus pulverförmigen, in einem mehr oder weniger flüssigen Bindemittel aufgelösten Substanzen bestehende Körper, die den zu färbenden Gegenstand in dünner Schicht umhüllen oder in irgendeiner anderen Form ihn durchdringen. Sie sind hierfür vorzüglich

geeignet, weil sie den für alle Körper gültigen Gesetzen der Lichtschluckung und Rückwerfung für bestimmte und begrenzte Schwingungsgebiete in besonders stark und charakteristisch ausgeprägter Weise entsprechen. Alle diese uns im täglichen Leben auf Schritt und Tritt begegnenden Farben bezeichnen wir im Gegensatz zu den homogenen, reinen Farben des Sonnenspektrums als Pigmentfarben. Diese sind, auch wenn es äußerlich nicht den Anschein hat, im Gegensatz zu jenen trotz der erwähnten Eigenschaften so gut wie niemals absolut rein und gesättigt, sondern durch mehr oder weniger starke Beimengung andersfarbiger oder weißer Strahlen „verunreinigt". Immerhin ist eine Farbe um so gesättigter, je größer die Menge der Strahlen von bestimmter Wellenlänge ist, welche sie zurückwerfen oder durchlassen. Sie ist um so heller, je größer die Menge aller sichtbaren Strahlen ist, welche sie zurückwerfen bzw. durchlassen, um so dunkler, je größer die Menge der sichtbaren Strahlen ist, welche sie schlucken.

Die Schluckung des Lichtes findet auch bei undurchsichtigen Körpern, genau genommen, nicht direkt auf der Oberfläche des Körpers statt, sondern erst, nachdem das Licht eine allerdings sehr winzige Strecke weit in ihn eingedrungen ist, und auch das die Färbung bedingende Licht wird erst aus dieser gewissen Tiefe zurückgeworfen. Dieser Umstand kommt u. a. bei der Erklärung der Tatsache in Betracht, daß bei den gewöhnlichen, als „Malerfarben" bekannten Farbstoffen Gelb und Blau, miteinander gemischt, nicht, wie die entsprechenden reinen Spektrallichter Weiß, sondern Grün ergeben. Die gelben Farbstoffe werfen als „unreine" Pigmentfarben neben den gelben auch noch grüne und rote Strahlen, die blauen Farbstoffe neben den blauen noch veile und ebenfalls grüne Strahlen zurück. Bei dem aus den tieferen Schichten zurückgeworfenen Licht werden die gelben und roten Strahlen durch die blauen, die blauen und veilen durch die gelben Pigmentteilchen verschluckt, und es bleibt als endgültige Wirkung die Erscheinung der grünen Farbe. Den Beweis für die Richtigkeit dieses Verhaltens liefert wiederum das Spektrum des Sonnenlichtes. Lassen wir ein Sonnenspektrum auf eine bunte, z. B. grüne Fläche fallen, so schluckt diese alle bunten Lichtstrahlen bis auf die grünen, die allein zurückgeworfen werden, und dasselbe gilt für alle bunten Strahlen. Ein im weißen Licht bunt erscheinender Körper

wird sofort schwarz erscheinen, seine Farbe also scheinbar ändern, wenn er von einem Licht beleuchtet wird, das nur Strahlen enthält, die er verschluckt. Eine von grünen Lichtstrahlen getroffene rote Fläche (z. B. ein rotes Blatt Papier) verliert daher im Bereiche der Einwirkung des grünen Lichtstrahles ihre bisherige rote Färbung und erscheint nunmehr schwarz, da hier jetzt keine roten Strahlen mehr auf die Fläche fallen.

Aus diesen Feststellungen geht hervor, daß alle im weißen Licht bunt erscheinenden Körper ihren bisherigen bunten Charakter mehr oder weniger ändern oder verlieren, wenn man sie anstatt von gemischtem weißen Licht von solchen Lichtern beleuchten läßt, aus denen man, z. B. durch Umhüllung mit gefärbten Glaskuppeln, eine oder mehrere Strahlengattungen künstlich entfernt hat, oder welche, wie die durch verdampfende Metallsalze entstehenden gefärbten Lichter, von vornherein nur einen gewissen Teil der im weißen Licht enthaltenen Strahlengattungen enthalten. So erscheinen unter rotem Licht beleuchtete weiße Körper rot, unter grünem grün usw., da sie nur diejenigen Strahlen zurückwerfen können, von welchen sie getroffen werden. Da nun schon den dem Tageslicht am meisten nahekommenden künstlichen Lichtquellen gewisse bunte Lichtstrahlen fehlen, die im weißen Tageslicht vorhanden sind, so erscheinen manche Farben, z. B. die blauen und veilen, des Abends bei Lampenlicht anders als bei Tageslicht. Es wurde schon erwähnt, daß mit dem Grade der Beleuchtung auch die relative Helligkeit der Farben wechselt. Gelb, Kreß und Rot sind bei Tageslicht die relativ hellsten Farben, während bei gleicher Beleuchtung Grün und Blau relativ dunkel erscheinen. Beim Dämmerlicht hingegen werden Gelb, Kreß und vor allem Rot dunkel, und Grün und Blau erscheinen relativ hell. Bei vollkommen einfarbigem Licht, z. B. dem durch Verdampfen des Thalliumsalzes entstehenden grünen Licht, verschwinden alle sonstigen Farbenunterschiede und man vermag nur die Helligkeitsunterschiede in der Farbe des ausgesandten Lichtes zu unterscheiden.

Die Erkennbarkeit einer Farbe nimmt mit der Größe ihrer Fläche zu und ab. Entfernt man sich z. B. von einer bunten Fläche von gegebener Größe so weit, bis ihre Farbe nicht mehr erkannt werden kann, so wird sie in dieser Entfernung wieder erkannt, wenn die gegebene bunte Fläche durch eine entsprechend größere ersetzt

wird. Eine Farbe wird ferner um so leichter erkannt, je reiner und gesättigter sie ist. Es besteht daher hinsichtlich der Erkennbarkeit der Farben eine Wechselbeziehung zwischen Flächengröße und Reinheit, deren Vermehrung und Verminderung sich gegenseitig ausgleichen kann.

Bunte Nachbilder und Kontrasterscheinungen. Unabhängig von dem Einfluß der Helligkeitsveränderungen wird der Charakter des Farbensehens noch vielfach beeinflußt und modifiziert von dem örtlichen Nebeneinander- und dem zeitlichen Hintereinanderauftreten von Farbeneindrücken. Auch die Dauer der Einwirkung von bunten Eindrücken wirkt bestimmend auf das Farbensehen; es tritt eine gewisse Ermüdung des Auges ein, die sich z. B. darin äußert, daß die Farbenempfindung bei längerer Dauer der Einwirkung an Intensität abnimmt, ja sich sogar langsam ändern kann, und zwar derart, daß die langwelligen —warmen — Farbentöne sich einem Gelb, die kurzwelligen —kalten — einem Blau nähern.

Wenn man einen bunten Gegenstand einige Zeit betrachtet und dann das Auge auf eine graue Fläche wendet, so kommt es zur Erscheinung bunter Nachbilder des zuerst gesehenen Gegenstandes, die als positive bezeichnet werden, wenn sie mit dem Objekte gleichgefärbt erscheinen, als negative, wenn sie in der Gegenfarbe des Objektes erscheinen. Öffnet man ein in völligem Dunkel wohlausgeruhtes Auge plötzlich und schließt es wieder, so beobachtet man das positive Nachbild des fixiert gewesenen Gegenstandes. Öffnet man das Auge und blickt, während das Nachbild noch besteht, auf eine weiße Fläche, so wird aus dem positiven ein negatives Nachbild. Das positiv bunte Nachbild beruht auf der Nachwirkung des Reizes; das negative ist dadurch hervorgerufen, daß die Netzhautelemente, welche durch die Farbe des Gegenstandes ganz besonders gereizt wurden, ermüden und nunmehr durch das auf sie fallende weiße Licht am schwächsten erregt werden, während die anderen Elemente der Netzhaut in normaler Weise gereizt werden, worauf dann die Gegenfarbe hervortritt. Auch weiße Objekte geben bunte Nachbilder, in denen die Farben vielfach wechseln: Farbiges Abklingen der Nachbilder, indem das Nachbild für alle Farben

nicht gleichmäßig und gleichzeitig schwindet, sondern unter Schwankungen, woraus sich immer neue Farbenkombinationen ergeben können.

In naher Beziehung zu den farbigen Nachbildern steht die Erscheinung des sogenannten Farbenkontrastes. Schon im gewöhnlichen Leben sprechen wir häufig von Kontrastwirkungen bunter Eindrücke und wissen, daß sich schwarze Gegenstände am wirksamsten von heller Umgebung, rote Gegenstände auf grünem Grunde am gesättigsten und deutlichsten abheben. Allgemein bezeichnet man als Kontrast die Änderung des Eindruckes, die für unseren Gesichtssinn zwei verschiedene Farben wechselseitig hervorrufen, wenn sie nicht übereinandergelagert oder gemischt, sondern nacheinander oder gleichzeitig in gesonderten aneinandergrenzenden Flächen dem Auge dargeboten werden. In solchen Fällen, wo zwei verschiedene Helligkeiten oder Farben im Gesichtsfelde nebeneinander gleichzeitig erscheinen, sprechen wir vom „simultanen" Kontrast, während die obenerwähnten bunten, negativen Nachbilder auch als „sukzessiver" Kontrast bezeichnet werden, wenn z. B. nach längerem Anschauen einer roten Fläche oder eines roten Gegenstandes auf hellem Hintergrunde beim Verschwindenlassen des Gegenstandes oder beim Wegblicken auf eine helle Fläche für einen Augenblick die Empfindung der Gegenfarbe Grün entsteht. Denn stets erscheinen uns diese Nachbilder in der Gegenfarbe der zuerst gesehenen Farbe, d. h. die Farbe des vom Nachbild eingenommenen Gebietes ergibt sich aus der Mischung der Gegenfarbe des Nachbildes mit der Farbe des Hintergrundes, auf dem es entsteht.

Man spricht auch von einer induzierenden Farbe, welche die Veränderung hervorruft, und einer induzierten, als derjenigen, welche selbst verändert wird oder auf einer unbunten Fläche hervorgerufen wird. Der wesentliche Unterschied dieser Kontrasterscheinungen besteht darin, daß beim Simultankontrast zwei differente Netzhautstellen nebeneinander von verschiedenen Farben getroffen werden, während beim Sukzessivkontrast dieselbe Netzhautstelle nacheinander von zwei Farben beleuchtet wird. Am deutlichsten tritt die Kontrasterscheinung bei Betrachtung der bunten Schatten hervor. Entwirft man auf weißem Grunde durch einen vertikalen Stab von entgegengesetzten Seiten her den Schatten des Tageslichtes und

den einer Kerzenflamme, so erscheint der erstere, der von dem weißen Tageslichte sein Licht erhält, blau, also in der Gegenfarbe des Grundes, welche weißliches Rotgelb ist, da der Grund von dem weißen Tageslicht und dem rotgelben Kerzenlicht beschienen ist. Weißes Licht erscheint grün, wenn gleichzeitig Rot auffällt, es erscheint blau, wenn gleichzeitig Gelb auffällt usw. Eine graue Figur erscheint auf dunklem Grunde viel heller und lichtstärker als auf weißem Grunde und umgekehrt. Ein kleines, weißes, rundes Feld läßt sich ohne Änderung seiner eigenen Lichtstärke lediglich durch Änderung der Lichtstärke der Umgebung in ein geradezu schwarz erscheinendes und umgekehrt ein schwarzes in ein weißes verwandeln. Es ist dies eine Erscheinung des simultanen oder Nebenkontrastes und gleichzeitig des Nachkontrastes, also eine gemischte Kontrasterscheinung. Ein buntes Objekt in der Nachbarschaft eines farblosen verbreitet auf dieses seine Gegenfarbe. Eine farbige Figur erscheint viel gesättigter und leuchtender, wenn sie von der Kontrastfarbe umgeben erscheint; ein bunter Gegenstand in der Nachbarschaft eines unbunten verbreitet auf diesen seine Gegenfarbe. Man erhält die Kontrastfarben um so leichter, je blasser die induzierenden Farben sind. Diese Erscheinungen des Simultankontrastes sind keineswegs Urteilstäuschungen, wie man wohl annehmen könnte, sondern rühren her von der Ausstrahlung der Erregung auf die den gereizten Gebieten benachbarten Netzhautpartien. Bei dem sog. Florkontrast wird ein graues, auf einer bunten, z. B. roten Fläche befindliches unbuntes Stückchen Papier vom normalen Auge in der Kontrastfarbe, in diesem Falle also Grün, gesehen, wenn das Ganze mit einem dünnen, unbunten Florpapier überdeckt wird. Aus all diesen Beispielen geht hervor, daß unsere Farbenempfindungen niemals ganz gleichmäßige, identische und unveränderliche sind, sondern stets von den veränderten äußeren Umständen, sowohl der Beleuchtung als auch der zeitlichen Verhältnisse und des umgebenden Raumes abhängig sind. Wenn man nun noch bedenkt, daß selbst, wie wir sahen, die einzelnen Bezirke (Zonen) des lichtempfindlichen Teiles des Auges, der Netzhaut, in bezug auf Farbenempfindungen Verschiedenheiten aufweisen, so wird man begreifen, wie kompliziert die Verhältnisse beim Zustandekommen der Farbeneindrücke schon beim normalen Farbensehen liegen.

Achtes Kapitel.

Die Entwicklung des Farbensinns.

Geschichtliches. Es ist die Frage aufgeworfen worden, ob die Menschheit vom Urbeginn der Zeiten an die Farben der Umwelt in derselben Art und Weise gesehen hat wie wir es tun, oder ob der Farbensinn erst in allmählicher Entwicklung im Laufe geschichtlicher Zeiten erworben und bis zur heutigen Feinheit ausgebildet sei. Obwohl heutzutage die Anschauung, daß der normale Farbensinn ein dem ganzen Menschengeschlecht, ohne Unterschied der Rassen, in jeder Gegend und zu jeder Zeit gemeinsames angeborenes und in gleichem Maße entwickeltes Eigentum gewesen sei, und daß demnach alle lebenden Menschen eine völlig gleichartige Farbenwahrnehmung haben und stets gehabt haben, als allgemein anerkannt betrachtet werden kann, hat es doch bis vor wenigen Jahrzehnten nicht an Vertretern der Ansicht gefehlt, der Farbensinn sei eine verhältnismäßig späte, erst im Laufe der geschichtlichen Zeit erworbene Fähigkeit des Menschengeschlechtes.

Auf Grund seiner Sprachforschungen gelangte der englische Staatsmann Gladstone in Übereinstimmung mit ähnlichen Anschauungen des deutschen Gelehrten Magnus, der aber später von seinen diesbezüglichen Ansichten wieder zurückkam, durch eine Prüfung des homerischen Textes der Ilias und der Odyssee zu dem überraschenden Ergebnis, daß, obwohl Homer sich in seinen Schilderungen der allgemeinen Lichtwirkungen in ihren verschiedenen Äußerungen und Abstufungen als unübertrefflicher Meister gezeigt habe, doch die Bezeichnung und Beschreibung der einzelnen verschiedenen Farben in seinen Gedichten nicht nur merkwürdig unbestimmt, sondern direkt mangelhaft, verworren und irreführend seien. Gladstones sprachliche Untersuchungen führten ihn zu der Schlußfolgerung, daß Homers Farbensystem sich eigentlich nur auf die Gegensätze von Hell und Dunkel gründe, und er nahm

allgemein an, daß die Augen der Griechen seinerzeit einer Farbenempfindung in unserem Sinne noch nicht fähig gewesen seien; sie seien sich nur der Quantität des Lichtes bewußt geworden, d. h. der Helligkeitsunterschiede, aber noch nicht der Qualität, wie sie sich in den verschiedenen Farben äußert. Er übertrug diese Folgerung auf die gesamten Völker des Altertums, und ebenso wie er eine individuelle Erziehung des Auges zu einem normalen Farbensehen für möglich hielt, ließ er diese Erziehung und Entwicklung auch für das ganze Menschengeschlecht gelten. Auch der deutsche Gelehrte Geiger suchte etwas später nachzuweisen, daß die Ausdrücke für Farben in der Bibel, den Veden, dem Zend-Avesta und anderen frühen literarischen Werken sehr zweifelhaft und unbestimmt seien, und bemühte sich, darzutun, daß die Farbenwahrnehmung des Kulturmenschen eine Eigenschaft verhältnismäßig neuen Datums und der Farbensinn bei den Naturvölkern im Beginn der historischen Zeiten erst in seinen Anfängen entwickelt gewesen sei. Der Ausgangspunkt sei eine absolute Unempfindlichkeit für Farben beim Urmenschen; von da ab erschließen sich nach und nach drei Hauptfarben, die nach der Ordnung Rot, Grün und Veil auftreten. In der fortschreitenden Vervollkommnung des menschlichen Sehorgans sei die Empfänglichkeit für dieselben nach und nach zu einer normalen Funktion der Netzhaut geworden. Der Zuwachs der von der Netzhaut allmählich erworbenen Empfänglichkeit für diese Farben ist erblich geworden und hat durch eine lange Reihe von Generationen eine immer größere Vervollkommnung erfahren. Heutzutage ist die Leistungsfähigkeit, so meint Gladstone, eine so große, daß ein dreijähriges Kind mehr von den Farben weiß, d. h. sieht als Homer, der Schöpfer unsterblicher Werke, dessen Leistungen noch heute unübertroffen dastehen. Geiger unterschied vier Stufen der geschichtlichen Entwicklung und stellte sie sich folgendermaßen vor: Im Beginne ist das Sehorgan des primitiven Menschen nur mit der einen Fähigkeit, Hell und Dunkel zu unterscheiden, ausgerüstet gewesen. Es war bei ihm überhaupt kein Farbensinn vorhanden; es herrschte absolute Farbenblindheit, da nur Unterschiede der Helligkeit und Beleuchtung ohne jede bunte Qualität wahrgenommen wurden. Er braucht daher dieselbe Farbenbezeichnung für verschiedenfarbige helle und dunkle Gegenstände, je nachdem ihre Oberflächen stärker oder schwächer beleuchtet waren. Die erste

Entwicklungsperiode ist die, in welcher das Auge die Fähigkeit erlangt, zwischen Rot und Schwarz zu unterscheiden. In der Rigveda seien aber Rot und Hell noch kaum voneinander geschieden — Rot als die leuchtendste Farbe sei zuerst zur Wahrnehmung gelangt. Im nächsten Stadium scheidet sich der Farbensinn vollständig vom Lichtsinn. Rot und Gelb nebst ihren Schattierungen, Kreß usw. werden nun deutlich unterschieden, und in dieses Stadium sind die homerischen Gesänge zu verlegen, in denen die rote und gelbe Farbe zwar, aber noch nicht die grüne und blaue erwähnt wird. Homer gedenkt niemals des Grüns der Pflanzen und Bäume oder der Bläue des Himmels. Im dritten Stadium werden die Mittelfarben erkannt, die hinsichtlich ihres Lichtgehaltes zwischen den hellen und dunklen stehen, d. h. die grünen Farbtöne und ihre Abarten; die Empfänglichkeit für das helle und lebhafte Grün ist die an die Kenntnis des Gelb sich anschließende Entwicklungsstufe. Erst im vierten Stadium beginnt sich die Erkenntnis des Blau geltend zu machen. Diese Entwicklungsstufe sei sogar heute noch nicht aller Menschen Gemeingut geworden, wie die häufigen Verwechslungen zwischen Blau und Grün bei vielen Völkern beweise, die sogar bei uns selbst, z. B. bei Lampenlicht, nicht ungewöhnlich sei! Dementsprechend habe sich auch im Laufe der Zeiten beim Menschen die Wahrnehmung der auffallendsten farbigen Naturerscheinung, des Regenbogens, entwickelt. Homer beschreibt ihn als einfarbig, rot oder purpur. Ebenso die Araber, die auf ihn dieselbe Bezeichnung wie auf die Morgen- und Abendröte anwenden. Ähnlich sieht ihn der Prophet Hesekiel, während der Grieche Xenophanes in ihm die drei verschiedenen Farben Rot, Purpur und Gelbgrün unterscheidet. Auch für Aristoteles ist er noch dreifarbig, doch tritt neben Rot und Grün jetzt Blau als wesentliche Farbe auf. Ovid schildert ihn schon als 1000 farbig mit Übergängen, die kaum voneinander zu trennen sind, aber mit scharf geschiedenen Endfarben. In ähnlicher Weise sieht ihn Seneca. Die Dreizahl des Aristoteles kommt später wieder bei Galen zur Geltung; findet sich ferner in der Edda, in der indischen und arabischen Literatur und im Abendlande bis zum Beginn der neueren Zeit, wo Newton auftritt und die wissenschaftliche Farbenlehre begründet. Wie gesagt, hat Magnus seine Anschauungen nicht aufrechterhalten und später seinen Irrtum über die Schlußfolgerungen, die ihn

sich über die Tragweite ausschließlich sprachvergleichender Beweise anfangs täuschen ließen, zugegeben. An der ganzen, seinerzeit mit viel Aufwand von Scharfsinn vertretenen Auffassung ist nur das eine richtig, daß sich die Benennungen für bunte Eindrücke erst allmählich entwickelt und vervollkommnet haben und zwar im Verhältnis zu dem sich langsam einstellenden und wachsenden Bedürfnis. Der Urmensch in seinem frühesten Kulturzustande wird Farbenbezeichnungen und -ausdrücke wahrscheinlich überhaupt nicht besessen haben; er hatte sie auch gar nicht nötig, da er nur von konkreten Dingen geredet haben wird, und wenn er ihre Namen brauchte, so schloß er in sie ihre sämtlichen Attribute mit ein. Er brauchte nicht vom roten Blut, grünen Blatt usw. zu sprechen, denn alles Blut ist rot und alle Blätter sind grün für ihn.

Gegen die von Gladstone usw. vertretenen Anschauungen spricht vor allem die gänzliche Unzulänglichkeit eines so verhältnismäßig kurzen Zeitraumes von rund 3000 Jahren, der der Entstehung einer so stark und hoch entwickelten Empfindung wie derjenigen für die Farben zugewiesen wird. Sodann liefern die Kunstwerke und andere Überreste bunter Dekorationen der frühesten historischen, ja prähistorischen Zeiten, die Kenntnis und Wertschätzung der farbenprächtigen Edel- und Halbedelsteine usw. den Beweis, daß der Farbensinn schon lange vor Homers Zeiten zur vollen Entwicklung gelangt war. Ferner sind die sprachlichen Ausdrücke der alten Literatur hinsichtlich der Farbenbezeichnungen, die man zum Beweis eines unentwickelten Farbensinns heranzieht, aus den Sprachen selbst zu erklären, wobei vor allem zu berücksichtigen ist, daß es sich um tote Sprachen handelt. Auch braucht es nicht aufzufallen, daß man unter einem ewig blauen Himmel und in einer immer grünen Natur sich nicht veranlaßt fühlt, diese selbstverständlichen Eigenschaften durch die uns allerdings, aber aus dem entgegengesetzten Grunde geläufigen Beiworte als charakteristisch zu erwähnen oder gar hervorzuheben. Bei noch unausgebildeten Sprachen der primitiven Völker ist nichts natürlicher, als daß sie über einen beschränkten Wortschatz zur Bezeichnung von Farben verfügen, da dieser erst notwendig wurde, als man zu einem gewissen Kleider- und Wohnungsluxus gelangt war. Auch in unseren Zeiten kommt ein außerordentlich großer Teil der Kulturvölker mit einem recht geringen Sprachschatz für bunte

Bezeichnungen aus, aber es wird niemand mehr einfallen, auf den Zustand des Farbenerkennungs- und -unterscheidungsvermögens aus dem Mangel an geeigneten Bezeichnungen, zumal für seltenere und komplizierte Mischfarben beweisende Schlüsse zu ziehen. Ebensowenig kann der Umstand, daß die niederen Völker zum Schmuck ihres Körpers und für ihre Gebrauchs- und Ziergegenstände mit Vorliebe leuchtende und scharf kontrastierende Farben wählen, für ihren mangelhaften Farbensinn geltend gemacht werden. Die roten und gelben Farben bieten sich ihnen in Tieren, Früchten, Blumen sowie in Hölzern meist eher dar als die grünen und blauen, die in der Erde gesucht oder aus den Pflanzen erst in umständlichen Prozessen gewonnen werden mußten. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, daß das leuchtende und auffallende Rot mit dem erregenden Reiz seiner Beziehungen zum Blut und zur Wärme die erste Farbe gewesen sein mag, die ihren besonderen Namen erhalten hat, und ebensowenig ist es auffallend, wenn sich für die weniger auffallenden grünen, blauen und veilen Farbtöne, denen ohnehin der Begriff des Dunklen, Kühlen und weniger Erregenden anhaftet, erst verhältnismäßig spät das Bedürfnis zur besonderen Benennung ihrer Farbigkeit geltend gemacht hat, die sich mit dem allgemeinen Beiwort „Dunkel" vorläufig ohnehin genügend erschöpfend kennzeichnen ließ. Die Beweiskraft des Einwandes endlich, daß die noch heute vorkommende Farbenblindheit ein Überbleibsel jener frühesten Art des Gesichtssinnes sei, ist, soweit es sich wenigstens um die geschichtlich bestimmbaren Zeiträume handelt, nicht stichhaltig, selbst wenn die Ansicht nicht zutreffen sollte, daß die Farbenblindheit bei den zivilisierten Völkern weit häufiger anzutreffen ist als bei den Naturvölkern, vielmehr als eine Krankheit der Zivilisation, denn als ein Überbleibsel aus primitiven Zeiten zu betrachten ist. Es ist daher der Beweis für die Behauptung, daß im Laufe der geschichtlichen Entwicklung mit dem Farbensinn beim menschlichen Geschlechte eine neue Sinnesempfindung aufgetreten sei, als gescheitert anzusehen. Vielmehr kann als feststehend gelten, daß er, so wie er sich heute darstellt, bis zum frühesten Auftreten der Rassen auf Erden zurückreicht. Nur die Beurteilung der Empfindung ist in ihrem sprachlichen Ausdruck eine erschöpfendere und vielseitigere geworden. Übrigens bezeichnet keine moderne Sprache die Farben in genau derselben erschöpfenden Weise

wie jede andere, sondern eine jede läßt je nach der Ausbildung und dem größeren und geringeren Interesse, das ihnen innerhalb ihres Kulturkreises entgegengebracht wird, Verschiedenheiten in den Bezeichnungen nach ihrer Qualität und Quantität erkennen. Daher ist auch die Ungenauigkeit der altsprachlichen Farbenbenennungen nur eine scheinbare und auf kulturelle Einflüsse zurückzuführen, ganz abgesehen von den Schwierigkeiten, die die Erklärung bei einer toten Sprache bietet.

Eine andere Frage ist es, ob wir uns trotz Ablehnung einer Entwicklung des Farbensinns in geschichtlichen Zeiten zu der Annahme verstehen können, einen dem unsrigen entsprechenden Farbensinn auch bei der langen Reihe der vormenschlichen Ahnen vorauszusetzen und ihn in eine unbestimmte Vergangenheit durch geologische Zeiträume hindurch bis zu den ersten Erzeugern der Wirbeltiere zurückzuführen.

Den heutigen Anschauungen über die biologische Fortentwicklung der Tierarten von den einfachen zu den höher organisierten entspricht die fortschreitende Entwicklung ihrer durch die Sinnesorgane vermittelten Empfindungen. So haben auch die niederen Ordnungen der Tiere einst allmählich das Vermögen zur Wahrnehmung der Farben gewonnen, um es dann an alle späteren Nachkommen weiter zu vererben. Es kann daher kaum einem Zweifel unterliegen, daß entwicklungsgeschichtlich auch dem gegenwärtigen Farbensehen der Menschen ein Zustand vorausgegangen ist, in welchem nur Intensitätsunterschiede der Lichtenergie wahrgenommen wurden, etwa in der Art, wie es heutzutage noch bei den total farbenblinden Menschen der Fall ist. Die menschliche Netzhaut besitzt noch gegenwärtig in ihrem nach außen von der Sehgrube gelegenen Stäbchenapparat ein Organ, dessen Betätigung jener primitiven Sehweise entspricht, wie sie bei den meisten primitiven Lebewesen fast ausschließlich vorhanden ist. Es besteht daher guter Grund zur Annahme, daß der gegenwärtige Zustand des Farbensehens eines der Stadien im Entwicklungsvorgange vorstellt, der möglicherweise zum vollständigen Vorwiegen des bunten Sehens unter gleichzeitiger Zurückdrängung der primitiveren Form des unbunten Stäbchensehens führen wird. Es fehlt allerdings auch nicht an Vertretern der gegenteiligen Ansicht. So hält W u n d t es zwar für unzweifelhaft, daß sich die Farbenempfindungen erst allmählich entwickelt haben,

aber für ebenso unwahrscheinlich, daß sich diese Entwicklung seit der Existenz des Menschen bei diesem in irgend nennenswerter Weise geändert hat.

Allerdings kann man, sowohl beim einzelnen Individuum, wie beim ganzen Geschlecht, von einer „Entwicklung" des Farbensinns sprechen, aber man hat dann darunter nur das Vermögen zur Beurteilung, zur vergleichenden Schätzung und zur Klassifizierung der Farben zu verstehen, wie es sich in ähnlicher Weise auf allen Sinnesgebieten findet. Überall werden Erscheinungen, die zuerst als nebensächlich und belanglos mehr oder weniger unbeachtet blieben, erst unterschieden, wenn anderweitige Umstände dazutraten, welche die Beachtung solcher Unterschiede als zweckdienlich und wertvoll nahelegten und schließlich erforderten, ohne daß deshalb aber vorher neue oder größere Unterschiede in der Empfindungsart selbst auftreten mußten. Die früheren Unvollkommenheiten und die allmählich eingetretenen Fortschritte in der vergleichenden Schätzung der Farben, die sich in der Sprachentwicklung der Völker kundtun, haben daher keineswegs auch frühere Unvollkommenheiten und allmählich fortschreitende Entwicklung der Funktion des Sehorgans zur Voraussetzung. Deshalb konnte auch schon der primitive Mensch im einzelnen stets feiner Unterschiede zwischen Licht- und Farbenwirkungen fähig gewesen sein, ohne allerdings schon zur Erkenntnis derselben in bezug auf ihre Gruppierung und Benennung vorgedrungen zu sein. Manches wurde und wird auch jetzt noch in Gedanken unterschieden, ehe man es auch sprachlich unterschied, denn dazu bedurfte es erst eines besonderen Antriebes, der durch neu auftauchendes Interesse im Verein mit den Wirkungen der Erinnerungstätigkeit herbeigeführt wird. Da aber die Sprache kein notwendiger und vollkommener Ausfluß des Denkens ist, sondern zum Zwecke der Mitteilung entstanden ist, und nur soweit genau ist, als es das augenblickliche Interesse erfordert, welches selbst fortschreitender Entwicklung aus bescheidenen Anfängen unterliegt, so war es verkehrt, anzunehmen, daß die anfängliche Unzulänglichkeit und allmähliche Vervollkommnung in der Bezeichnung der Farben einer ihr parallel gehenden Entwicklung der Beurteilungs- und Unterscheidungsfähigkeit entspräche. (Nach Ostwald.)

Ebenso wie das begleitende Urteil von der Empfindung zu trennen ist, so ist es auch das durch die Empfindung hervorgerufene Lust-

oder Unlustgefühl. Auch diese Anlage, durch bunte Eindrücke zu Gefühlen bestimmt zu werden, nennt man oft „Farbensinn", und auch der so verstandene Farbensinn läßt sich durch Erziehung entwickeln und ausbilden, so daß es zu einer allmählichen Verfeinerung desselben kommt. Auch diese Entwicklung des Geschmackes ist nicht auf das Individuum beschränkt, sondern kann sich auf das ganze Geschlecht erstrecken, aber sie kann ebensowenig wie die sonstige wechselnde Beurteilung auf eine Änderung in der physiologischen Farbenwahrnehmung bezogen werden.

Die Entwicklung des Farbensinnes beim Kinde. In ähnlicher Weise wie man für das ganze Menschengeschlecht eine Entwicklung des Farbensinnes von einer primitiven Urform zu seiner heutigen Vervollkommnung behauptet hat, glaubte man auch bei dem einzelnen menschlichen Individuum eine derartige Entwicklung annehmen zu können, die an die einzelnen Wachstumsperioden gebunden sei. Danach würde im frühesten Kindesalter eine totale Farbenblindheit bestehen, die während der ersten Lebensjahre allmählich in die partielle Farbenblindheit überginge und sich dann erst zum normalen Farbensinn entwickele. Daß davon im Ernst keine Rede sein kann, beweist schon die Tatsache, daß der Farbensinn als solcher angeboren ist und das ganze Leben hindurch unverändert bleibt, soweit nicht das Auftreten gewisser Gehirn- und Nervenerkrankungen eine vorübergehende oder dauernde Änderung bedingt. Weder infolge der natürlichen Wachstumsverhältnisse noch vermöge der zunehmenden Übung im Sehen erscheint irgendein Farbton im reiferen Alter anders als in früher Jugend, sobald das Sehorgan voll entwickelt und ausgebildet ist. Auch das bei angeborener Blindheit im mehr oder weniger späten Alter erst durch operative Eingriffe sehend gewordene Auge empfindet und unterscheidet die Farben alsbald wie jedes andere normale. Wenn auch beim Kinde daher ein Farbenunterscheidungsvermögen unzweifelhaft schon sehr früh vorhanden ist, so wird es doch auch bei entwickeltem Sprachvermögen schwerlich die Hauptfarben jedesmal sofort richtig benennen können. Es ist zwar von Anfang an die absolute Wahrnehmung der Farben vorhanden, aber erst etwas später, d. h. nach Ablauf der ersten Lebensjahre, gesellt sich die optische Unterscheidung hinzu, die schon eine Beurteilung und damit eine fortgeschrittenere,

intellektuellere Entwicklung erheischt. Die Vollkommenheit der Empfindung wird aber erst erreicht, wenn zu der physiologischen Wahrnehmung und der sprachlichen Unterscheidung die Betätigung des Gedächtnisses hinzutritt. Man kann im allgemeinen annehmen, daß dieser Zustand beim Menschen für die einfachen und geläufigen Hauptfarben nicht vor dem 10. Lebensjahre, also während der ersten Schuljahre, zur vollkommenen Ausbildung gelangt, der dann allerdings bei einer großen Anzahl von Menschen, zumal männlichen Geschlechts mangels Übung und Erziehung zu keiner weiteren Verfeinerung gedeiht.

Der Farbensinn der Naturvölker. Bei dem großen Interesse, das in steigendem Maße der Kenntnis des Farbensinnes gewidmet wird, erscheint es verständlich, daß auch der Farbensinn der Naturvölker in den Kreis der Forschungen einbezogen wurde. Auch hier waren es nicht zuletzt entwicklungsgeschichtliche Gründe und Anschauungen, die darauf abzielten, die Frage der Annahme einer fortschreitenden Entwicklung des Farbensinnes beim menschlichen Geschlecht unter Vergleich der bei den auf verschieden hohen Kultur- und Bildungsstufen stehenden Naturvölkern gefundenen Forschungsresultate der Lösung näherzubringen.

Bekanntermaßen bekunden die verschiedensten Naturvölker eine große Vorliebe für lebhafte und grelle Farben; sie tätowieren und bemalen die Haut mit allen möglichen ihnen zu Gebote stehenden Farben des Pflanzen-, Tier- und Mineralreiches und wissen vielfach auch solche Farbstoffe zu den verschiedensten Schmuckzwecken für ihre Bekleidung, Wohnung, Gebrauchsgegenstände usw. künstlich herzustellen. Sie schmücken Kopf und Körper mit bunten Zieraten jeder ihnen erreichbaren Art, sind stets bereit, alle möglichen bunten Gegenstände um hohe Preise einzuhandeln und einzutauschen und verfertigen auch, und zwar oft mit großem Geschmack, bunte Geflechte, Gewebe und Zeichnungen. Für die Empfindlichkeit der Naturvölker farbigen Eindrücken gegenüber spricht ferner ihr meist allerdings unvollkommener Sprachschatz in bezug auf bunte Unterschiede, aber es hat sich unschwer nachweisen lassen, daß sie auch bei unentwickeltem Benennungsvermögen wohl imstande sind, feinere bunte Unterschiede wahrzunehmen und festzustellen. Ja es gilt heutzutage als sicher, daß alle Naturvölker einen Farbensinn besitzen, der in seinen

Grenzen mit dem der Kulturvölker im allgemeinen übereinstimmt, auch wenn bei ersteren Farbenempfindung und -bezeichnung in einem eigentümlichen Mißverständnis stehen, sei es, daß beide sich nicht decken oder daß bei gut entwickelter Empfindung nur eine mehr oder weniger mangelhafte Farbenbenennung vorhanden ist. Eine derartige ungenügende Farbenterminologie zeigt insofern eine gewisse gesetzmäßige Form, als fast durchgehends die sprachlichen Ausdrücke für die warmen, langwelligen Farben, insbesondere für rote und gelbe Farbtöne viel schärfer ausgeprägt sind als für die kalten, kurzwelligen Empfindungen Grün und Blau. Dabei werden fast stets die im Spektrum benachbarten Farben sprachlich mit demselben Ausdruck bezeichnet, was besonders häufig mit Grün und Blau, aber auch bei Gelb, Kreß und Rot der Fall ist, dahingegen nur selten bei solchen Farben, die keine spektrale Nachbarschaft haben, wie etwa Rot und Grün. Bei den mangelhaftesten Ausdrucksweisen findet sich für die langwelligen Farben nur der Ausdruck Rot, während die kurzwelligen überhaupt nur als dunkel bezeichnet werden. Es handelt sich aber auch in diesen äußersten Fällen stets nur um eine sprachliche Armut, indem der Wortschatz der Sprache nicht hinreicht, um die verschiedenen Qualitäten der sinnlichen Wahrnehmung sprachlich zum Ausdruck zu bringen, während doch der Farbensinn gut entwickelt ist. Es ist klar, daß mit der Feststellung dieses tatsächlichen Verhaltens und seiner Regelmäßigkeit für die Erklärung und das erschöpfende Verständnis der Erscheinung selbst noch nicht viel gewonnen ist, denn die geringe schöpferische Kraft der Sprache allein macht uns weder die Gesetzmäßigkeiten der mangelhaften Farbenbenennungen verständlich, noch gibt sie uns Aufschluß darüber, warum gerade die Schärfe der Benennung von Rot gegen das Blau hin in fast proportionaler Weise abnimmt, noch warum die Vereinigung mehrerer verschiedener Farbenempfindungen zu einem sprachlichen Ausdruck stets nur spektrale Nachbarfarben betrifft. Dafür bleibt nur die Annahme übrig, daß bei der sprachlichen Verkörperung auch die physiologische Qualität der verschiedenen Empfindungen eine ausschlaggebende Rolle gespielt und sich bei der Sprachbildung leitend betätigt hat. Es leuchtet ein, daß der physiologische Charakter eines hellen, leuchtenden Rot und des benachbarten Gelb viel zu verschieden ist von demjenigen eines dunklen Blau und Veil, als daß für diese beiden Farbenpaare sich

gleiche sprachliche Ausdrücke entwickelt haben könnten, und ebenso verständlich ist es, daß jene auffallenden und am wirksamsten in die Erscheinung tretenden warmen Farbtöne mit ihrem hohen Gehalt an lebendiger Kraft einen schärferen und früheren sprachlichen Ausdruck gefunden haben als diese das unmittelbare Gefühl viel weniger beeinflussenden kalten Farbenempfindungen. In der Tat hat dem scharf entwickelten Begriff des Rot gegenüber das Blau den unentwickeltsten sprachlichen Ausdruck gefunden und wurde nicht selten einfach als dunkel bezeichnet. Und weiter werden natürlich bunte Empfindungen sprachlich miteinander leicht verschmolzen, die auch als solche einander nahestehen, miteinander verwandt und ähnlich sind und sich nicht in ihrer Wirkung gegenüberstehen. Wenn gar, wie in verschiedenen Sprachen, z. B. in der hochentwickelten chinesischen Sprache, sich ein gemeinsames Wort für Grün und Blau und daneben noch ein selbständiger Ausdruck für beide findet, so liegt nichts näher als die Annahme, daß das gemeinsame Wort als das ältere zu einer Zeit gebildet wurde, wo die Empfindung, die man von diesen beiden Farbtönen hatte, noch nicht soweit differenziert und geklärt war, um für beide sprachlich verschiedene Worte zu entwickeln. Erst später, als man sich der begrifflichen Unterschiede bewußter wurde, trat gleichzeitig der Zwang der biologischen Notwendigkeit ein, die Farbengruppen sprachlich aufzulösen und besondere Worte für jede der bunten Empfindungen zu schaffen, vorausgesetzt, daß überhaupt die betreffende Sprache die zu einer solchen Weiterentwicklung notwendigen und fähigen Elemente aufwies. In ähnlicher Weise erweist sich auch bei den heutigen Kulturvölkern ein fortschreitender Prozeß wirksam, indem die immer feiner werdende Ausbildung des Farbenempfindungsvermögens die Veranlassung gibt zur Entwicklung einer dieser Empfindungsvervollkommnung entsprechenden fortgeschrittenen, sprachlichen Ausdrucksweise, einerlei, ob die eigene Sprache die neuen Bezeichnungen selbst schafft oder sie aus anderen Sprachen herbeiholt oder aber zu beiden Auskunftsmitteln nebeneinander greift.

Hält man auf Grund solcher Anschauungen eine Wechselwirkung zwischen dem physiologischen Faktor der Empfindung und dem philologischen Moment der Sprachbildung bei der Entwicklung der Farbenbenennung für bestehend und gibt zu, daß die Sprache ein Licht auf die Entwicklung der Empfindungsvorgänge zu werfen imstande ist,

so darf sie doch keinesfalls dazu verleiten, aus der mehr oder minder vollkommenen Farbenterminologie auf einen jeweiligen entsprechenden Zustand der derzeitigen Empfindungsweise selbst Schlüsse zu ziehen. Wohl vermag die Sprache die allmählich fortschreitende Entwicklung der Farbenbeurteilung wahrscheinlich zu machen und sogar die Eigenartigkeiten dieses Entwicklungsganges in bezug auf Form und Art zu enthüllen, aber die Versuche, aus bestimmten sprachlichen Farbenbenennungseigentümlichkeiten, wie sie z. B. die homerischen Gesänge aufweisen, einen unmittelbaren Rückschluß auf das jeweilige Verhalten des Farbensinnes zu ziehen und sogar die einzelnen Stufen der Farbensinnentwicklung zeitlich in bestimmte geschichtliche Grenzen zu verlegen, sind, wie gesagt, als viel zu weitgehend und verfehlt zurückzuweisen.

II. Teil.

Die angeborenen Störungen des Farbensinns.

Neuntes Kapitel.

Die Abweichungen vom normalen Farbensystem. — Die Elemente des Farbensehens.

Farbentüchtigkeit und Farbenuntüchtigkeit. In den vorstehenden Abschnitten unserer Darstellung haben wir uns mit dem Farbensehen beschäftigt, wie es der überwiegenden Mehrzahl aller Menschen in so gut wie vollkommen übereinstimmender Weise zukommt und das wir daher in der gekennzeichneten Art als das regelrechte, normale Farbensehen zu bezeichnen berechtigt sind. Als solches findet es seinen sprachlichen Ausdruck in der gleichartigen Wiedergabe für alle bunten Eindrücke, die uns die Außenwelt vermittelt. Wir sprachen daher in all diesen Fällen von dem Vorhandensein eines normalen Farbensinnes, von regelrechtem Farbenerkennungs- und Unterscheidungsvermögen oder auch von Farbentüchtigkeit bzw. Farbensicherheit und bezeichneten die mit einem solchen Farbensehen ausgestatteten Individuen als farbentüchtig oder farbensicher. Diese Eigenschaft ist, wie wir noch näher darzulegen haben, nicht nur von großer theoretisch-wissenschaftlicher, sondern auch von außerordentlicher praktischer Bedeutung, indem Farbentüchtigkeit die unerläßliche Vorbedingung für die Erfüllung einer Reihe wichtiger Berufsarten ist.

Wir sahen ferner, daß ein normales Farbensystem, d. h. die Gesamtheit der Farbenempfindungen, deren ein Individuum überhaupt fähig ist, sich als die Funktion dreier veränderlicher Größen im Sehorgan, der sogenannten Komponenten der Farbenempfindung erschöpfend darstellen ließ. Diese Funktion kommt dadurch zum Ausdruck, daß wir durch Mischung beliebig vieler Lichter keine anderen Reizerscheinungen im optischen Empfangsorgan, dem Auge, erzielen können als durch Mischung von nur drei bestimmten einfachen Lichtern, und wir charakterisierten das normale Farben-

system in bezug auf das Verhalten den Mischungsgleichungen mit spektralen Lichtern gegenüber dahin, daß für das farbentüchtige Auge zu jedem beliebigen Licht oder Lichtgemische eine diesem gleich aussehende Mischung dreier passend ausgewählter einfacher Lichter hergestellt werden kann, mit anderen Worten, daß es ein System sei, bei dem mindestens drei Lichter des Spektrums erforderlich sind, um, gemischt, alle denkbaren Farbenempfindungen, deren das Auge fähig ist, auszulösen. Ein solches Farbensystem lernten wir als ein trichromatisches (Dreifarben-) System und die damit ausgestatteten Individuen als normale Trichromaten kennen, wenn die Mischungsverhältnisse den für die überwiegende Mehrheit der Menschen als übereinstimmend experimentell festgestellten Werten entsprechen.

Es gibt nun eine übrigens nicht unerhebliche Minderzahl von Menschen, deren Farbensystem ein von obiger Regelmäßigkeit abweichendes oder nach einer oder mehreren Richtungen hin beschränktes ist. Diese Abweichung äußert sich in einer dem Farbensehen des normalen Menschen gegenüber veränderten oder beschränkten Farbenempfindung, wobei es zunächst gleichgültig bleibt, ob sich diese Änderung der Farbenempfindung auf alle bunten Farbtöne oder nur auf eine mehr oder weniger große Anzahl bezieht oder ob sie nur unter besonderen Bedingungen auftritt. Solche Individuen vermögen zwar noch Farben wahrzunehmen, aber sie sehen sie größtenteils wesentlich anders als die mit einem normalen Farbenerkennungs- und Unterscheidungsvermögen Begabten, denen gegenüber ihr Farbensinn daher als beeinträchtigt anzusehen ist, einerlei, ob sie sich dieses Zustandes bewußt sind oder nicht, einerlei auch, ob sie auf die von ihnen empfundenen bunten Eindrücke dieselben Benennungen anwenden wie die Farbentüchtigen oder von diesen abweichende. Ganz allgemein bezeichnen wir eine derartige Beeinträchtigung des Farbensinnes als Farbenuntüchtigkeit und lassen sie abhängig sein von Farbensinnstörungen oder Farbensinnanomalien, ohne damit über die Art und den Grad, Umfang und Wirkung dieser Abnormität, die in verschiedenen Formen auftreten kann, vorläufig mehr auszudrücken als das Unvermögen, alle bunten Eindrücke in derselben vollkommenen Weise zu empfinden und zu beurteilen, wie es bei den farbentüchtigen Menschen übereinstimmend der Fall ist.

Die Farbensinnanomalien als angeborener Zustand. Bei allen diesen auf fehlerhafter Entwicklung des Farbensinnes beruhenden Farbensinnstörungen und der durch sie veranlaßten Farbenuntüchtigkeit handelt es sich keineswegs um krankhafte, also pathologische Erscheinungen, die erst im Laufe der Zeit von einem bis dahin farbentüchtigen Individuum erworben und nach einer gewissen Dauer, unter Umständen durch geeignete Behandlung, im Sinne einer Heilung beeinflußt werden können, sondern um angeborene und das ganze Leben hindurch unverändert fortbestehende, also physiologische Zustände, die keiner Beeinflussung zugänglich sind, auch wenn von den davon betroffenen Individuen aus diesem oder jenem Grunde das Gegenteil behauptet wird.

Die erworbenen Störungen des Farbensinns. Von den angeborenen sind scharf zu trennen die sogenannten erworbenen Farbensinnstörungen, die bei vorher vollkommen farbentüchtig gewesenen Individuen als Folge- oder Teilerscheinung einiger besonderer Gehirn- und Nervenerkrankungen, z. B. bei gewissen Krankheiten des Sehnerven, der Netzhaut, des Rückenmarkes, ferner bei Erkrankungen der das Sehen vermittelnden Nervenorgane des Gehirns, sowie bei einigen Vergiftungen aufzutreten pflegen und als pathologische Erscheinungen nur ein vorwiegend ärztliches Interesse haben. Während die angeborenen Farbensinnstörungen so gut wie stets beide Augen, und zwar in gleichartiger Weise betreffen, kommen die erworbenen Störungen, zumal im Beginn der Erkrankung, gar nicht selten einseitig zur Beobachtung oder befallen beide Augen in verschiedener Weise und nacheinander. Da mit der Heilung der Grundkrankheit auch die Farbensinnstörung zumeist wieder völlig verschwindet, ohne irgendwelche Spuren zu hinterlassen, so ergibt sich hieraus schon ein grundlegender Unterschied zwischen den angeborenen, übrigens auch vererbbaren Farbensinnstörungen einerseits und den uns hier weiter nicht interessierenden erworbenen andererseits. Diese letzteren sind obendrein meist noch von anderen mehr oder weniger starken Mängeln des Sehvermögens begleitet, während bei dem angeborenen Zustand die übrigen Funktionen des Auges, speziell das Sehvermögen, im allgemeinen normal sind. Es wird daher in unserer Darstellung nur von der durch die angeborenen Farbensinnstörungen verursachten Farbenuntüchtigkeit die Rede sein.

Abweichungen im Bereich des normalen Farbensehens. Ehe wir an die Aufgabe gehen, dem normalen Farbensinn die Beschreibung der angeborenen Abnormitäten des Farbensehens gegenüberzustellen, müssen wir uns darüber klar werden, daß auch die große Übereinstimmung in den Empfindungen, die auf der normalen Funktion des Sehorgans bunten Eindrücken gegenüber beruht, einen Spielraum läßt für gewisse Abweichungen, die sich innerhalb des Bereiches dieser normalen Funktion geltend machen können. Wie bei jeder anderen Sinneswahrnehmung, so kann auch bei bunten Eindrücken die Empfindlichkeit des Sehorgans einzelner Individuen leichten Unterschiedlichkeiten unterworfen sein, ohne sie aus dem Rahmen des normalen Farbenerkennungs- und Unterscheidungsvermögens heraustreten zu lassen. Es können sich hier die verschiedensten Einflüsse und Abhängigkeiten von Geschlecht und Alter, Intelligenz und Begabung, Erziehung und Übung, Bildung und Beruf geltend machen, so daß wir je nachdem von einem verfeinerten oder einem unentwickelten Farbensinn sprechen können. Wohl vermögen ungenügende Übung, vernachlässigte Erziehung, mangelhafte sprachliche Benennung bei oberflächlicher Beurteilung einen herabgesetzten Farbensinn vorzutäuschen, in der Tat handelt es sich dann aber stets nur um qualitative, niemals um quantitative Unterschiede, wobei daran zu erinnern ist, daß der Begriff der Farbe in bezug auf die Qualität der einzelnen Farbenempfindungen ja nur ein Ausfluß unserer Subjektivität, ein seelisches Urteil ist, das erst in unserem Sehorgan bzw. Gehirn durch Umformung der Energie des Lichtes zustandekommt und zu den Empfindungen führt, welche wir als rot, grün usw. bezeichnen. Es gilt daher für das normalen Farbensehen auh heute noch der bereits von G o e t h e in seiner Farbenlehre aufgestellte Grundsatz: „Aber das kann und muß man annehmen, um nicht in Ungewißheit und Raisonnement zu verfallen, daß alle gesunden Augen alle Farben und ihr Verhältnis zueinander ungefähr gleich sehen, denn auf diesem Glauben solcher Übereinstimmung beruht ja die Mitteilung der Erfahrung."

Verschiedene Formen der Farbensinnstörungen. Bei den im Gegensatz hierzu stehenden Farbenempfindungen der Farbenuntüchtigen handelt es sich nun keineswegs um eine einzige als solche eindeutig charakterisierte und gleichmäßig immer wiederkehrende Farbensinn-

störung, sondern wir sehen sie innerhalb der weiten Grenzen eines Zustandes, bei dem Unterschiede der bunten Qualität als solche überhaupt nicht wahrgenommen werden, einerseits und dem normalen Farbensehen andererseits in einer ganzen Stufenleiter verschiedener Systeme und Gruppen mit ihren Übergangs- und Zwischenformen verlaufen, welche die Zuweisung der jeweilig vorliegenden Störung zu einer dieser noch näher zu kennzeichnenden Gruppen unter Umständen erschweren oder gar unmöglich machen. Besonders schwierig kann sich die Entscheidung gestalten, ob es sich in einem gegebenen Falle noch um ein regelrechtes Farbensehen oder schon um das Vorliegen eines der leichtesten Grade der Farbensinnstörung handelt und es bedarf zu solchen Feststellungen der Anwendung einer Reihe von Prüfungsmitteln, die sich auf die vergleichende Erkennung sowohl spektraler Lichter als auch künstlich hergestellter, Licht rückwerfender oder durchlassender bunter Pigmente gründen. Auf Grund derartiger, von sachkundiger Hand benutzter Prüfungsmethoden, auf deren Vervollkommnung man unablässig bedacht ist, gelingt es uns, in der großen Mehrzahl der Fälle zu einem dem heutigen Stand der wissenschaftlichen Auffassung entsprechenden Urteil über das Wesen der Farbensinnstörungen, ihre Beziehungen zu dem normalen Farbensehen und die Eingruppierung in eines der verschiedenen Systeme zu gelangen.

Ausbildung des Farbensinnes im psychologischen Sinne des Wortes. Bekanntlich verlangt eine große Anzahl von beruflichen und künstlerischen Betätigungen, z. B. im Schmuck- und Bekleidungsfach, in der Wohnungsausstattung, der Gärtnerei u. a. von ihren Vertretern ein besonders feines und empfindliches Unterscheidungsvermögen für farbige Eindrücke, das vielfach erst durch die tägliche Übung und jahrelange Beschäftigung ausgebildet und geschärft wird. Den höchsten und vollendetsten Ausdruck erreicht es in den ausübenden Künsten der Malerei, Bildnerei und Ornamentik mit ihren immer wieder neugestalteten Zusammen- und Gegenüberstellungen von Farb- und Lichtwirkungen. In diesem Sinne ist auch der Farbensinn einer gewissen Ausbildung fähig und kann eine derartige Leistungsfähigkeit erreichen, daß man von einer höheren Verfeinerung des Farbensinnes sprechen kann. Trotzdem haben aber auch die Künstler durchaus keinen anderen Farbensinn im physiologischen Sinne des Wortes als

den durchschnittlichen normalen, sie sehen die Welt in genau den gleichen Farben wie jeder andere Farbentüchtige, und das bessere Unterscheidungs- und feinere Empfindungsvermögen, über das sie verfügen, erklärt sich, abgesehen von einer gewissen Verschiedenheit der Begabung, nur aus der intensiveren Schulung und größeren Übung im Farbenerkennen und -unterscheiden. Auf der anderen Seite gibt es eine Unzahl einfacher Berufe, die ihre Vertreter kaum je in die Lage bringen, bunten Eindrücken und ihren Verschiedenheiten eine auch nur über die elementarsten Farbenunterschiede hinausgehende Aufmerksamkeit zu schenken. Solche Personen können eine oft geradezu unglaubliche Ungeschicklichkeit in ihrem Verhalten bunten Eindrücken gegenüber verraten. Da ihre Hilflosigkeit sich vornehmlich in unvollkommener oder fehlerhafter Benennung der Farbe äußert, fühlt sich der oberflächliche Beurteiler leicht dazu verleitet, sie für farbenuntüchtig oder im landläufigen Sinne sogar für farbenblind zu halten. Sie sind oder vielmehr sie brauchen es aber keineswegs zu sein, und eine genauere Prüfung mit geeigneten Hilfsmitteln überzeugt uns im gegebenen Falle leicht davon, daß sie sehr wohl imstande sind, auch feinere Farbenunterschiede richtig so zu erkennen, wie es einem normal entwickelten und durchaus leistungsfähigen Farbensinn entspricht. Nur verstehen sie es nicht oder haben es nicht gelernt, die sinngemäßen Bezeichnungen anzuwenden, weil sie vermöge ihrer Intelligenz, ihres Bildungsganges, ihrer Beschäftigung und Erziehung keine zureichende Gelegenheit gehabt haben, sich mit den Farben näher zu beschäftigen. Sie stehen ihnen interesselos, ja in gewissem Sinne ratlos gegenüber. Man hat solche Personen wohl „farbendumm“ genannt, keineswegs darf man sie lediglich deshalb aber schon als farbenuntüchtig bezeichnen, weil sie auch auf häufig wiederkehrende Farben falsche oder sogar gar keine Bezeichnungen anzuwenden wissen. Höchstens kann die Farbenbenennung in derartigen Fällen uns die Spuren weisen, welche die früheren, zeitlich nicht bestimmbaren Perioden der sich allmählich vollziehenden Entwicklung des Farbensinns hinterlassen haben, mag man diese nun als einen wirklich auf fortschreitender Vervollkommnung des Sehorgans beruhenden Prozeß ansehen oder nur für das Produkt einer Übung und Erziehung des Farbensinns gelten lassen wollen. Aus sprachlichen Befunden, zumal, wie es vielfach geschah, der toten Sprachen allein aber einen Rück-

schluß auf die Art des früheren Farbensehens zu ziehen, ist durchaus unhaltbar.

Andererseits ist die berufliche oder künstlerische vorzugsweise Beschäftigung mit Farben bzw. bunten Gegenständen noch durchaus kein Beweis dafür, daß der Farbensinn solcher Individuen, wenn nicht besonders entwickelt, so doch zum mindesten stets normal und keinesfalls von der Regel abweichend sein muß. Es ist vielmehr sehr wohl möglich und kommt in der Tat viel häufiger vor, als gemeiniglich angenommen wird, daß das Farbenerkennungs- und -unterscheidungsvermögen auch solcher Personen nicht ganz vollwertig ist trotz häufiger, sogar künstlerisch besonders erfolgreicher Betätigung im Gebiete der Farbenwelt, daß sie mit einem Wort Farbensinnstörungen irgendwelcher Art aufweisen. Es geht daraus hervor, daß sich unter Umständen ein physiologisch nachweisbar herabgesetzter Farbensinn und ein im psychologischen Sinn verfeinerter nicht nur nicht auszuschließen brauchen, sondern sogar miteinander vergesellschaften können. Dabei ist es durchaus nicht nötig oder gar selbstverständlich, daß diese Farbensinnstörungen den davon Betroffenen direkt bewußt sind, vielmehr wissen sie, zumal da, wo es sich um die leichteren Grade der Störung, die sog. Farbenschwäche, handelt, meist überhaupt nichts von deren Vorhandensein und überzeugen sich davon, daß sie sich von der übrigen Menschheit in ihrem Farbenempfindungsvermögen unterscheiden, erst dann, wenn ein besonderer Zufall oder eine eingehendere Untersuchung zur Entdeckung der bisher unbeachtet gebliebenen Tatsache führt. Andere wollen in früherer Zeit wohl gelegentlich mit Farbenunterscheidungen Schwierigkeiten gehabt haben, behaupten aber, der Zustand habe sich im Laufe der Zeit gebessert, sei es von selbst, sei es vermöge ihrer häufigen Beschäftigung mit Farben oder infolge ihnen empfohlener, methodisch durchgeführter Übungen ihres Farbensinns. Wenngleich derartige Angaben meist auf Selbsttäuschung beruhen, so sind doch auch bewußte Täuschungen gar nicht selten. Vielfach haben solche Personen aus sozialen und ökonomischen Gründen ein großes und an sich verständliches Interesse daran, ihre angeblich wiedererlangte Farbentüchtigkeit zu betonen, zumal, wenn sie in Berufen eine Anstellung gefunden haben oder zu finden hoffen, die einen ungeschmälerten Farbensinn erfordern. Meist sind aber Farbenuntüchtige, namentlich leichteren Grades, tatsächlich der Meinung, ihr Zu-

stand sei stets vollkommen normal gewesen oder es im Laufe der Zeit geworden, weil sie es nach und nach gelernt haben, sich mit Farben immer besser zurechtzufinden. Dazu befähigen sie in der Tat mehrere Umstände, denen eine nähere Beachtung geschenkt werden muß, wenn man ein Verständnis für die Art des Farbensehens des Farbenuntüchtigen gewinnen will. Da dieser die Farben der Umwelt mindestens nicht in derselben Weise wie der Farbentüchtige erblickt, sich aber auf Schritt und Tritt gezwungen sieht, mit den Farbentüchtigen seiner Umgebung im täglichen Leben und Beruf die geläufigen Farbenbegriffe zu verstehen und mitzubenutzen, so lernt er, ganz unabhängig von der Empfindung, die er selbst beim Betrachten der Gegenstände hat, sich doch der gewöhnlichen Farbenbenennungen zu bedienen, zumal bei den immer wiederkehrenden Gegenständen der Umgebung, mit denen er täglich zu tun hat. Übung, Gewohnheit und Gedächtnis befähigen ihn daher ohne weiteres, z. B. den Wald wie das Gras als grün, den Ziegelstein wie das Blut als rot, den Himmel wie die Kornblume als blau, das Getreide als gelb usw. richtig zu bezeichnen, und er glaubt schließlich, da ihm ja der Vergleich unmöglich ist, ebenso zu sehen wie seine farbentüchtigen Mitmenschen. Er lernt eben das Anwenden der geläufigen Farbenbenennungen wie das Abc in der Schule und bezeichnet in der Tat auf Befragen die einzelnen Gegenstände oft ganz verblüffend richtig.

Gelegentlich zwar beurteilt er eine Farbe ungenau oder falsch, wenn er aber darauf aufmerksam gemacht wird, so verbessert er sein Urteil ohne weiteres, und zwar vielfach richtig, und er führt die unrichtigen Angaben auf Einflüsse der Beleuchtung, momentane Unaufmerksamkeit u. a. m. zurück. Dem Intelligenten wird es natürlich viel eher auffallen als dem Ungebildeten, daß seine Mitmenschen oft von Farbenunterschieden bei Gegenständen sprechen, die ihm absolut gleichfarbig erscheinen, und so sieht er sich, mehr unbewußt als bewußt, nach anderen Unterscheidungsmerkmalen um, die ihm auf Umwegen das mangelnde Farbenunterscheidungsvermögen ersetzen sollen. Solche findet er hauptsächlich in den verschiedenen Helligkeitsunterschieden, welche die einzelnen Farbtöne und Lichter bei gleichstarker Lichtquelle haben, und weiter noch in den Sättigungsgraden der Farbtöne, alles Qualitäten, die der Normale angesichts des bei ihm vorherrschenden Eindrucks des Farbentons als unwesent-

lich außer acht zu lassen pflegt. Er sucht also die Farben auf Grund der Helligkeits- und Sättigungsgrade, statt nach der Qualität der Farbe zu erkennen und zu beurteilen, wobei ihm außer der zunehmenden Übung noch das Nebeneinanderauftreten verschieden heller und gesättigter Lichter zustatten kommt, das ihn die Verschiedenfarbigkeit vergleichen und auch bei bisher unbekannten Gegenständen oft richtig erschließen läßt. Infolgedessen ist es leicht erklärlich, daß solche Menschen allmählich zur Überzeugung gelangen, ihr Farbensinn habe sich wirklich gebessert, da sie etwaiger früherer Schwierigkeiten Herr zu werden gelernt hätten, was ja auch tatsächlich nicht selten der Fall ist. Eine wirkliche Besserung oder auch nur Änderung ihres Farbenunterscheidungsvermögens an und für sich hat aber keineswegs stattgefunden. Das, was sie gelernt haben und für eine Besserung ihres Farbensinns halten, verdanken sie nur einer größeren und vollkommeneren Ausnutzung der verschiedenen, ihnen zur Verfügung stehenden Umwege, auf denen sie zur meist richtigen Erschließung der Farbenunterschiede gelangen. Natürlich muß dieses geschärfte Unterscheidungsvermögen im gegebenen Falle je nach den Umständen seine Grenzen finden, sobald es sich um unbekannte Gegenstände handelt und die erwähnten Umwege zu richtigen Schlußfolgerungen nicht mehr ausreichen. Dann beginnen die Schwierigkeiten, die auch trotz aller Übung und Aufmerksamkeit nicht zu überwinden sind und den Farbenuntüchtigen in einen geradezu hilflosen Zustand versetzen können. Davon kann man sich nirgends besser überzeugen, als an den mit Mischungen spektraler farbiger Lichter arbeitenden Farbenmischapparaten, wenn man sieht, wie hier selbst der gewandteste Farbenuntüchtige den vom Farbentüchtigen spielend leicht hergestellten Mischungsgleichungen gegenüber vollkommen versagt.

Aus dem Gesagten geht hervor, welche Schwierigkeiten die Beurteilung der Qualität des Farbensehens beim Farbenuntüchtigen darbietet, da wir uns nicht so ohne weiteres in seine Farbenempfindungen hineinversetzen und sie mit den unsrigen vergleichen können. Hinsichtlich der Farbenbenennungen muß man sich immer wieder vergegenwärtigen, daß der Farbenuntüchtige, der ja infolge seines angeborenen Zustandes keine Erinnerungsbilder an früher richtig empfundene Farben haben kann, dennoch die gebräuch-

lichen Farbenbezeichnungen wie der Normale anwendet, und zwar häufig genug im richtigen, mit uns übereinstimmenden Sinne, einem Umstand, dem man auch bei den Methoden der Untersuchung auf Farbensinnstörungen Rechnung zu tragen genötigt ist. Diese Prüfungsmethoden müssen daher vor allem so beschaffen sein, daß dem Prüfling die Verwertung der ihm zur Verfügung stehenden Umwege und Hilfsmittel versagt bleibt und daß ein objektiv eindeutiges Ergebnis erzielt wird, welches sich nach dem Angeführten unter keinen Umständen auf die Beurteilung der Farbenbenennungen allein gründen darf, die der zu Untersuchende den von ihm gesehenen bunten Gegenständen oder Lichtern zuteil werden läßt.

Eingeschränkte und abgeänderte Farbensysteme. Der Grundgedanke, daß sich der normal funktionierende Sehapparat aus einer beschränkten, aber bei allen Individuen übereinstimmenden Art und Zahl von Bestandteilen zusammensetzt, durch deren verschiedene Betätigung die gesamte Mannigfaltigkeit unserer bunten Gesichtsempfindungen bestimmt wird, hat auch für die Farbensysteme herabgesetzter oder eingeschränkter Natur, die sich in einer mehr oder weniger deutlichen Störung des normalen Farbenempfindens äußern, als maßgebende Regel Geltung. Die durch eine solche Regelmäßigkeit geschaffenen Beziehungen zwischen den normalen und den beschränkteren Farbensystemen äußern sich ganz allgemein derart, daß diese fehlerhaften Systeme aus dem Ausfall oder aus einer Minderung eines oder mehrerer der drei Bestandteile (K o m p o n e n t e n) des normalen Farbensystems entstanden sind und durch sie bedingt werden. Die Beziehungen, die sich aus dem gänzlichen oder nur teilweisen Mangel eines oder mehrerer dieser Bestandteile ergeben, lassen eine für die resultierende Farbenempfindung maßgebende objektive Charakterisierung der einzelnen Systeme zu, die völlig unabhängig bleibt von den Benennungen, welche ein mit einem derartigen Mangel behaftetes Individuum seinen subjektiven Farbenempfindungen zuteil werden läßt, und sich lediglich auf objektive Vergleichsmerkmale gründet. Unterscheidet sich ein Individuum von einem anderen durch den vollständigen Ausfall eines oder mehrerer der drei Bestandteile, die das normale Farbensehen zusammensetzen, so können wir ein solches mangelhaftes Farbensystem als eine R e d u k t i o n s f o r m des normalen auffassen, wenn es nur

gewisser Unterscheidungen ermangelt, die dem vollwertigen eigen sind, ohne dabei andere zu besitzen, die jenem fehlen. Die aus dem Fehlen einer der Komponenten sich ergebenden Verschiedenheiten der Farbenempfindung sind daher nichts anderes als das Resultat eines Minus, einer Einbuße.

Die optischen Gleichungen der Farbenuntüchtigen. Der Weg, der zur Feststellung dieser Gesetzmäßigkeiten geführt hat, ist derselbe, den wir betreten haben, um zu objektiven Vorstellungen über das Farbensystem der im Besitze eines normalen Farbensinnes befindlichen Personen zu gelangen, und wird durch die quantitative Bestimmung der Mischungsverhältnisse mehrerer homogener Spektrallichter gewiesen, die erforderlich sind, um eine Gleichung mit den einzelnen homogenen Lichtern des Spektrums zu erzielen. Durch die Ermittlung derartiger „optischer Gleichungen" können wir die Beschaffenheit eines jeden Sehorgans in bezug auf seine Farbenempfindungen in genauester Weise analysieren, ohne von subjektiven Farbenbenennungen abhängig zu sein, da das Auge als vergleichendes Meßinstrument nur festzustellen hat, ob zwei Lichter gleich aussehen oder nicht bzw. welche Lichter für dasselbe gleich aussehen. Natürlich können derartige Vergleichsbestimmungen auch mit beliebigen bunten Gegenständen ausgeführt werden, wie denn auch den meisten zurzeit gebräuchlichen einfachen Farbensinnprüfungsmitteln die Beurteilung von optischen Gleichungen des von Pigmentfarben zurückgeworfenen oder durchgelassenen Lichtes zugrunde liegt, doch eignet sich zur Erzielung möglichst sicherer Ergebnisse nur die Verwendung spektraler Lichter, deren absolute und stets gleichmäßige Reinheit von keinen äußeren Umständen und Bedingungen abhängig ist, die in geeigneten Apparaten ihrer Lichtstärke und Helligkeit nach am feinsten abgestuft, auf ihre Reizwerte hin am genauesten geprüft werden können und in ihrer Beurteilung von störenden äußeren Einflüssen am unabhängigsten sind.

Betrachten wir unter diesen Voraussetzungen ganz allgemein die Möglichkeiten, die sich aus dem Ausfall einer der drei Komponenten des normalen Farbensystems ergeben, so kann dieser Ausfall theoretisch sowohl jede einzelne der drei Komponenten als auch mehrere gleichzeitig betreffen.

Das achromatische und die dichromatischen Farbensysteme. Das Vorliegen eines Ausfalls einer dieser bunten Komponenten wird sich bei der Untersuchung mit spektralen Mischungsgleichungen darin äußern, daß das Auge eines mit einem derart vereinfachten Farbensystem begabten Individuums nicht mehr, wie normalerweise, dreier aus bestimmten Teilen des Spektrums entnommener Lichter benötigt, um alle überhaupt möglichen Reizwirkungen, d. h. Farbenempfindungen, herzustellen, sondern es reichen bei ihm entweder schon zwei verschiedene Lichter oder gar nur eines aus, um alle denkbaren Farbenempfindungen auszulösen bzw. um eine Gleichung mit jedem einzelnen homogenen Lichte zu erzielen. Handelt es sich bei einem Farbensystem um den Ausfall nur einer der drei Komponenten, sind also nur noch zwei farbige Komponenten vertreten, so werden diejenigen Lichter und Lichtgemische, die der Farbentüchtige gleich sieht, durchweg auch einem solchen Dichromaten, wie man diese Zweifarbensehenden nennt, gleich erscheinen müssen, außerdem aber auch alle diejenigen Lichter, die sich für den Normalen nur durch ihre Wirkung auf jenen dem Dichromaten fehlenden Bestandteil unterscheiden. Individuen, die ein derartiges, um eine Komponente vermindertes, also dichromatisches Farbensystem (Dichromasie), mit den entsprechenden dadurch begründeten Abweichungen vom normalen Farbsehen aufweisen, bezeichnete man bisher vielfach, übrigens, wie wir noch sehen werden, irreführenderweise als partiell, d. h. teilweise Farbenblinde, oder auch, da sich ihre Farbensinnstörung fast ausnahmslos im Bereich der Empfindungen roter und grüner Farbtöne geltend macht, als Rotgrünblinde bzw. als Rotblinde oder Grünblinde, je nach dem Ausfall der die Rot- oder Grünempfindung vermittelnden Komponente. Ihrem tatsächlichen Verhalten gegenüber bunten Gegenständen entsprechend nennt man sie am treffendsten „Rotgrünverwechsler".

Haben wir es auf Grund der Untersuchungen mittels der Mischungsgleichungen am Spektralapparat mit einem System zu tun, bei dem man mit nur einem einzigen beliebigen bunten Lichte dazu gelangt, mit jedem einzelnen andersfarbigen homogenen Licht oder einem Lichtgemisch eine Gleichung zu erzielen, und zwar durch einfache Regulierung nur der Helligkeit, wo man also, mit anderen Worten, zwischen zwei beliebigen homogenen Lichtern oder Lichtmischungen eine voll-

kommene, nur durch Helligkeitsunterschiede differenzierte Gleichung erhält, so sprechen wir von einem monochromatischen (einfarbigen) oder achromatischen (unbunten) System, bezeichnen diesen Zustand sinngemäß als totale Farbenblindheit (Monochromasie, Achromasie) und nennen ihre Vertreter total Farbenblinde. Sie sehen im Spektrum nur Helligkeits-, aber keine Farbenunterschiede.

Die anomal trichromatischen Farbensysteme. Die naheliegende und auch bis vor kurzem vertretene Auffassung, daß mit der Gegenüberstellung des trichromatischen Systems als des Sehens der Farbentüchtigen und der dichromatischen Systeme einschließlich des achromatischen als des Sehens der ganz und teilweise farbenblinden Farbenuntüchtigen sämtliche Möglichkeiten des regelrechten und des regelwidrigen Farbensehens erschöpft seien, hat sich auf Grund der in den letzten Jahrzehnten erhobenen Forschungsergebnisse nicht aufrechthalten lassen können; diese führten vielmehr zu der Feststellung, daß auch das trichromatische, bisher als normal angesprochene Farbensystem kein vollkommen übereinstimmendes und einheitliches ist, sondern daß es auch innerhalb dieses Systems Abweichungen gibt, die bei den davon Betroffenen zu einer Beeinträchtigung ihres Farbensehens Anlaß geben können. Ebenso wie die Farbensinnstörungen der Achromaten und Dichromaten konnten auch die Abweichungen innerhalb des trichromatischen Systems experimentell mittels der Mischungsgleichungen nachgewiesen und in verschiedene Gruppen untergeteilt werden. Sie äußerten sich hierbei in ganz charakteristischen Verschiebungen der notwendigen Anteile der drei Lichtermischungen gegenüber den von der Mehrzahl der Normalen übereinstimmend zur Herbeiführung einer Farbengleichung zwischen einem homogenen Licht und einer Lichtmischung beanspruchten Anteile. Aus diesen Erkenntnissen ergab sich die Notwendigkeit, die innerhalb des trichromatischen Farbensystems herrschenden Eigentümlichkeiten durch besondere, sie charakterisierende Bezeichnungen zum Ausdruck zu bringen, und man stellte dem Farbensystem der zahlenmäßig weit überwiegenden Normalsichtigen als dem normal-trichromatischen auch noch die Gruppen der anomal-trichromatischen Systeme gegenüber. Wir sprechen daher sinngemäß von normalen Trichro-

maten, deren regelrechtes Farbenerkennungs- und Unterscheidungsvermögen sie als farbentüchtig kennzeichnet, und von anomalen Trichromaten, die neben den beiden Systemen der Achromaten und Dichromaten als dritte Systemgruppe mit ihren Unterabteilungen den Farbenuntüchtigen zuzurechnen sind, trotzdem bei ihnen keine der drei Komponenten ganz wegfällt, sondern nur eine Abänderung der für sie geltenden Reizwerte der drei Lichter nachzuweisen ist.

Um nun auch die Übereinstimmung zu den deutschen Bezeichnungen: vollkommene (totale) und teilweise (partielle) Farbenblindheit für Achromasie und Dichromasie herzustellen, hat man für die anomale Trichromasie den Ausdruck „Farbensinnschwäche“ oder „schwacher Farbensinn“ gewählt und spricht dementsprechend von farbenschwachen Individuen, die als solche eine Mittelstellung zwischen den Normalen und den Dichromaten einnehmen und sich mit ihren vielfachen Übergangsformen dem normalen Farbensehen derart nähern können, daß sie praktisch diesem gleichwertig erscheinen. Sie stellen ja auch nicht, wie die beiden anderen Systeme, eine Reduktionsform des normalen, trichromatischen Systems infolge gänzlichen Wegfalls einer oder mehrerer Komponenten, sondern als dreigliedrige Typen nur eine Variations- oder Alterationsform desselben dar.

Ehe wir uns einer eingehenden Beschreibung dieser drei Gruppen der Farbenuntüchtigkeit mit ihren Unterabteilungen zuwenden und uns über die Art und Weise ihres vom Normalen abweichenden Farbensehens näher unterrichten, ist es notwendig, die Natur der Farbensinnstörungen noch nach einigen anderen Seiten hin zu beleuchten.

Zehntes Kapitel.

Die Häufigkeit, das Vorkommen und die Geschichte der Farbensinnstörungen.

Ungleiche Verteilung der Farbensinnstörungen auf die beiden Geschlechter. Wie über das Wesen und die Bedeutung, die den angeborenen Farbensinnstörungen zukommt, so macht man sich auch über die Häufigkeit ihres Vorkommens meist falsche Vorstellungen. Im allgemeinen ist man geneigt, sie für eine seltene Ausnahme zu halten, was allerdings aus der eigenen Unkenntnis der meisten Farbenuntüchtigen über ihren Zustand oder aus dem Bestreben, ihn zu verheimlichen, sowie der Schwierigkeit ihrer Erkennung wohl erklärlich ist.

Von besonderem Interesse ist die auffallend ungleichmäßige Verteilung der Farbensinnstörungen auf die beiden Geschlechter. Beim weiblichen Geschlecht sind sie nämlich ganz außerordentlich viel seltener vertreten als beim männlichen und sind bei höchstens 1 Proz. der untersuchten weiblichen Individuen gefunden worden, wobei allerdings die beim weiblichen Geschlecht bisher noch recht unvollkommen durchgeführte Statistik zu berücksichtigen ist. Demgegenüber weist die für das männliche Geschlecht viel umfangreicher und genauer durchgeführte Statistik eine um mindestens das Zehnfache höhere Beteiligungsziffer auf, und wir gehen kaum fehl in der Annahme, daß jede 8. bis 10. männliche Person von einer mehr oder weniger deutlichen Farbensinnstörung betroffen ist, was einem Prozentsatz von etwa 10 bis 12 Proz. entspräche. Man hat sich natürlich gefragt, worauf dieses auffallende Mißverhältnis zwischen den beiden Geschlechtern zurückzuführen sei, und hat dafür die verschiedensten Gründe geltend zu machen gesucht. Es liegt nahe, in der in früher Jugend und während der Schulzeit beginnenden und immer wiederholten Beschäftigung mit buntfarbigen Handarbeiten, dann mit Gegenständen der weiblichen Kleidung nnd des Putzes ein wirksames Erziehungsmittel des Farbensinnes beim weiblichen Geschlecht zu erblicken, eine Übung, zu der das frühzeitig

auftretende Interesse an kleidsamer Tracht und buntem Schmuck schon unbewußt Veranlassung gibt. Sie erstreckt sich durch Vererbung ganz unmerklich auch auf die kommenden Geschlechter, bis sie zu einer stärkeren Festigung der angeborenen Eigenschaft führte. Andere bestreiten die größere Leistungsfähigkeit des weiblichen Farbensinns und erklären sie nur für ein Ergebnis unvollkommener und lückenhafter Statistik, indem das weibliche Geschlecht in den bisherigen Statistiken mit viel zu kleinen Zahlen im Vergleich zum männlichen vertreten sei. Wieder andere führen die Erfahrungen ins Feld, die man bei den Weibern vieler Naturvölker gewonnen hat, bei denen eine Schulung des Farbensinns nie stattgehabt hat und die doch einen ebenso feinen Farbensinn nachweisen lassen wie die Kulturvölker. Wenn wir uns aber unserer Ausführungen über die Möglichkeit einer Erziehung und Verfeinerung des Farbensinns erinnern, die schon bei einem einzelnen Individuum wirksam werden kann, so werden wir im Hinblick auf biologische Zusammenhänge und Gesetze solange an der Überlegenheit des weiblichen Farbensinnes festhalten dürfen, bis durch umfangreichere Statistiken das Gegenteil nachgewiesen wird. Natürlich wird eine derartige Übung beim Weibe ebensowenig wie beim Manne je imstande sein, eine einmal angeborene Farbensinnstörung zu bessern oder zu heilen, vielmehr darf man in ihr nichts anderes sehen als ein Erziehungsmittel, das durch seine allmähliche und unmerklich sich immer wiederholende Wirkung zwar nicht dem einzelnen Individuum, wohl aber dem ganzen Geschlecht zugute kommt und verhindert, daß die erworbene Eigenschaft durch Nichtbetätigung wieder eingebüßt wird.

Statistik der Farbensinnstörungen beim männlichen Geschlecht. Es liegt in der Natur der Sache, daß die statistischen Erhebungen über das Vorkommen von Farbensinnstörungen beim männlichen Geschlecht um vieles vollkommener und genauer als beim weiblichen durchgeführt sind, zumal seitdem regelmäßige Untersuchungen auf Farbentüchtigkeit für die Angehörigen einer Reihe von Berufszweigen, z. B. bei den Kriegs- und Handelsmarinen, für das Eisenbahnpersonal u. a. m. bestimmungsgemäß vorgesehen sind. Auf Grund dieser statistischen Erhebungen ist man, wie gesagt, zu dem Ergebnis gelangt, daß wahrscheinlich mehr als 10 Proz. der gesamten männlichen Bevölkerung

eine Farbensinnstörung aufweisen, wenn man diesen auch die leichteren Fälle von Farbensinnschwäche zurechnet, die auf der unscharfen Übergangsgrenze zum normalen Farbensystem stehen. Da diese Übergangsstufen allmähliche und unmerkliche sind, so bleibt trotz der neuerdings vermehrten und verfeinerten Untersuchungsmethoden doch stets ein Rest von Grenzfällen, wo man zweifelhaft sein kann und es von dem subjektiven Ermessen des Untersuchers abhängt, ob man derartige Fälle noch für farbentüchtig halten oder sie schon zu den Farbensinnstörungen rechnen soll. Dadurch erklären sich wenigstens zum Teil die auch heute noch bestehenden, innerhalb gewisser Grenzen voneinander abweichenden statistischen Ermittelungen über die Häufigkeit des Vorkommens von Farbensinnstörungen auch beim männlichen Geschlecht, die außerdem noch von gewissen, das Prüfungsergebnis beeinflussenden Untersuchungsbedingungen (Ermüdung, Beleuchtung) und den noch immer nicht ganz auf der wünschenswerten Höhe der Vollkommenheit stehenden Prüfungsmethoden abhängen. Unter Zugrundelegung des oben erwähnten Prozentsatzes verteilen sich die Zahlen auf die einzelnen Gruppen der Farbensinnstörungen etwa derart, daß die partielle Farbenblindheit (Dichromasie) bei mindestens 3 Proz., wahrscheinlich bei 3 bis 4 Proz. der Männer vertreten ist. Sie stellt in der Hauptsache die im täglichen Leben bisher schlechthin als „Farbenblinde" Bezeichneten dar. Da ihre Farbenblindheit in der Tat nur eine „teilweise" (partielle) ist, nennt man sie entsprechend den bei ihnen vorzugsweise ausgefallenen Grundempfindungen vielfach auch „Rotgrünblinde", denn die theoretisch mögliche Blaugelbblindheit kommt praktisch so überaus selten zur Beobachtung, daß sie statistisch ganz außer acht gelassen werden kann.

Die daher so gut wie allein hier in Betracht kommende Gruppe der Rotgrünblinden wird in der Hauptsache, und zwar zu $^2/_3$ bis $^3/_4$ von solchen Farbenuntüchtigen gebildet, bei denen die Grünkomponente ausgefallen ist und die infolgedessen auch als „Grünblinde" bezeichnet werden, während der kleinere Rest auf die „Rotblinden" entfällt, denen die Rotkomponente fehlt.

Mindestens ebenso häufig, wahrscheinlich aber noch häufiger, findet sich die Farbensinnschwäche, bei der, wie wir sahen, zwar keine der drei Grundempfindungen vollkommen fehlt, wohl aber eine oder die andere mehr oder weniger mangelhaft ausgebildet ist.

Ihre praktische Bedeutung ist indes, zumal in den ausgesprochenen Fällen, mindestens ebenso hoch einzuschätzen als diejenige der dichromatischen Farbensinnstörungen. Ihre Häufigkeit ist nach den Ergebnissen der neuesten Forschungen mit 4 bis 5 Proz. aller Männer nicht zu hoch veranschlagt, statistisch aber um so schwerer genau zu erfassen, als sie ja im Gegensatz zur Dichromasie alle möglichen Übergangsformen und Abstufungen bis zum normalen Farbensinn aufweist und daher diesem gegenüber schwer abgrenzbar ist. Auch diese „anomalen Trichromaten" sondern sich je nach der vorzugsweisen Minderung einer der drei Komponenten in Rot- und Grünanomale (Rot- und Grünschwache), und ebenso wie bei den entsprechenden Dichromaten überwiegen die Grünanomalen um das 3- bis 4fache die Rotanomalen, während Veilanomale bisher überhaupt noch nicht zur Beobachtung gelangt sind.

Weit seltener, wenn auch in einer ganzen Anzahl von Fällen beobachtet, ist die totale Farbenblindheit (Achromasie, Monochromasie) anzutreffen.

Verteilung der Farbensinnstörungen auf die verschiedenen Bevölkerungsschichten. Indem man, — wie wir schon sahen, irrtümlicherweise — die Möglichkeit einer Ausbildung und Erziehung des herabgesetzten Farbensinns zu einem vollwertigen voraussetzte, hat man geglaubt, eine gewisse Unzulänglichkeit des Farbensinns bei den unteren, weniger gebildeten Volksklassen statistisch nachweisen zu können. Tatsächlich ist dieser Nachweis nicht erbracht. Gewiß sind viele männliche Vertreter der unteren Volksschichten wegen ihrer mangelhaften Allgemeinbildung, zumal wenn sie in ihrem Berufe und in ihrer Umgebung mit Farben wenig zu tun haben, besonders häufig nicht imstande, richtig zutreffende Farbenbenennungen abzugeben, vor allem, wenn es sich um seltener vorkommende und ungesättigte Farbtöne handelt, aber wir sahen schon, daß es sich hier keineswegs um einen mangelhaften physiologischen Farbensinn, sondern nur um eine mangelhaft ausgebildete Farbenkenntnis handelt, die im Gegensatz zu jenem durch geeignete Erziehung und Übung, z. B. in den Schulen, leicht zu beheben wäre, während eine noch so intensive Behandlung einer Farbensinnstörung mittels Übungsmethoden auch nicht im entferntesten imstande ist, Farbenuntüchtige dazu zu bringen, die Farben in

Wirklichkeit so zu sehen, wie sie der Normale sieht. Neuere statistische Untersuchungen haben denn auch den Nachweis erbracht, daß sich die Farbensinnstörungen auf alle Bevölkerungsschichten des gleichen Geschlechts völlig gleichmäßig verteilen und daß eine stärkere Beteiligung der unteren Klassen in keiner Weise vorliegt, trotzdem einer Ausbildung des Farbensinns bei ihnen so gut wie gar keine Beachtung geschenkt wird, soweit kein beruflicher Zwang vorliegt.

Beziehungen zwischen Farbensinnstörungen und Rasse. Ebenso wie die Beziehungen zwischen Farbensinn und Geschlecht, hat man auch die Abhängigkeit von Eigentümlichkeiten der Rasse geprüft, und will dabei zu der bemerkenswerten Feststellung gelangt sein, daß unter den Juden eine entschieden größere Neigung zu Farbensinnstörungen besteht wie bei den westeuropäischen, speziell den germanischen und romanischen Rassen, die in dieser Beziehung unter sich keine deutlichen Verschiedenheiten aufweisen. Man schätzt das Verhältnis, vielleicht übertrieben, wie 2 zu 1, so daß auf einen christlichen zwei jüdische Farbenuntüchtige kämen.

Eine Erklärung dieser auffälligen Tatsache wird in der ausgesprochenen Erblichkeit der Farbensinnstörungen erblickt. Wenn, wie noch zu erwähnen sein wird (siehe S. 168), ihre Weiterverbreitung auf dem Wege der Vererbung geschieht, so kann es erklärlich erscheinen, daß gerade die Juden, welche sich seit Jahrhunderten von einer Vermischung mit fremdem Blut ziemlich erfolgreich abschließen und hauptsächlich untereinander heiraten, mehr zu dieser Sehstörung neigen als die anderen Rassen. Es darf indes nicht verschwiegen werden, daß auf Grund anderer Statistiken kein Überwiegen der Farbenuntüchtigkeit bei den Juden nachzuweisen ist.

Farbensinnstörungen bei Naturvölkern. Bei der Beurteilung der Frage nach der Ausbildung des Farbensinns bei den Naturvölkern lag es nahe, auch das Vorkommen von Farbensinnstörungen bei ihnen zu erörtern. Wie wir weiter oben (siehe S. 142) feststellen konnten, sind auch die Naturvölker trotz ihres meist unvollkommenen Farbenbenennungsvermögens wohl imstande, feinere bunte Unterschiede zu empfinden, so daß wir uns für berechtigt halten, ihnen einen Farbensinn zuzusprechen, der im allgemeinen mit demjenigen der Kulturvölker übereinstimmt. Über das Vorkommen von

Farbensinnstörungen bei ihnen gehen aber die Meinungen zurzeit noch sehr auseinander. Hierfür sind zum größten Teil einerseits die noch sehr spärlichen, andererseits die mit unzulänglichen Prüfungsmitteln gezeitigten Forschungsergebnisse anzuschuldigen, ganz abgesehen von den großen Schwierigkeiten, die der Durchführung derartiger Prüfungen entgegenstehen. Es ist hier also noch ein weites Gebiet der Bearbeitung vorbehalten. Ein Teil der Forscher, die sich bisher zu dieser Frage geäußert haben, vertritt die Meinung, die Anomalien des Farbensehens seien bei den unzivilisierten Völkern, wenn überhaupt, so doch weit seltener als bei den Kulturvölkern anzutreffen, und begründen damit die Behauptung, Farbensinnstörungen seien als ein Produkt der Zivilisation aufzufassen.

Auf der anderen Seite ist von denen, die die Farbenblindheit für ein Überbleibsel aus primitiven Zeiten der Menschheitsentwicklung halten, die Meinung geäußert worden, auch das Farbenerkennungs- und -unterscheidungsvermögen der Naturvölker sei in seiner mangelhaften Ausbildung mit dem Farbensehen unserer Farbenuntüchtigen auf eine Stufe zu stellen und sie glauben damit die Richtigkeit der Anschauung von der fortschreitenden Entwicklung des Farbensinns im physiologischen Sinne des Wortes beweisen zu können. Auch zu dieser Frage kann nicht eher entscheidende Stellung genommen werden, als bis in größerem Maßstabe an umfassenderem Material und mit den neuesten Prüfungsmitteln unter einheitlicheren Gesichtspunkten vorgenommene Untersuchungen vorliegen.

Erblichkeit der Farbensinnstörungen. Die Kenntnis von der Erblichkeit der Farbensinnstörungen ist so alt wie die Kenntnis von ihrem Vorkommen überhaupt. Gleich die ersten in England bekannt gewordenen Fälle betrafen ein Brüderpaar. Weiterhin häuften sich die Beobachtungen über ihre erbliche Übertragung derart, daß man bald eine besondere Gesetzmäßigkeit der Vererbung festzustellen vermochte. Während nämlich sowohl die Söhne als auch die Töchter eines farbenblinden Vaters in der Regel einen normalen Farbensinn besitzen, pflegen die von den Töchtern stammenden männlichen Enkelkinder wieder farbenuntüchtig zu sein, nicht aber die Kinder der Söhne, so daß die Vererbung stets unter Überspringung einer Generation vor sich geht. Es besteht in diesem Verhalten eine gewisse

Analogie zur Bluterkrankheit (Hämophilie), bei der es auch stets die weiblichen Mitglieder sind, die die Krankheit auf ihre männlichen Nachkommen übertragen, ohne selbst davon befallen zu werden. Das Auffallende bei dieser Übertragungsart ist der Umstand, daß die weiblichen Überträger dieser Anomalien selbst von ihnen verschont bleiben. Indessen sind auch direkte Übertragungen von Vater auf Sohn beobachtet, was ja nicht gegen die ausgesprochene Gesetzmäßigkeit zu sprechen braucht.

Geschichtliches. Daltons Farbensinnstörung. Der Daltonismus. Wenn wir die Annahme für berechtigt halten, daß der Mensch, wenigstens in geschichtlichen Zeiten, stets über einen unserem heutigen entsprechenden Farbensinn verfügt hat, so dürfen wir auch glauben, daß seit alters her Farbensinnstörungen in ganz derselben Weise wie heutzutage vorgekommen sind. Trotzdem sind sie auffallend lange der allgemeinen Aufmerksamkeit entgangen, und unsere Kenntnisse von ihnen sind noch verhältnismäßig jung. Sie lassen sich nach den bisherigen Feststellungen nicht über das Jahr 1777, also kaum 150 Jahre, zurückverfolgen. Die damals bekannt gewordenen ersten Fälle betrafen ein Brüderpaar in England, deren Farbensinnstörung in einer brieflichen Mitteilung als besondere Merkwürdigkeit Erwähnung fand und auf Grund dieser dürftigen Nachricht als dem dichromatischen System zugehörig angesprochen werden kann. Die Angaben blieben aber unbeachtet in der wissenschaftlichen Welt, und erst im Jahre 1794 gab der englische Physiker John Dalton die genauere wissenschaftliche Beschreibung einer Farbensinnstörung, die um so größere Aufmerksamkeit erregte, als es sich um eine Veröffentlichung von an seiner eigenen Person gemachten Beobachtungen hinsichtlich seines von dem seiner Mitmenschen stark abweichenden Farbensinns handelte, bestehend in einer totalen Unempfindlichkeit gegen die Verschiedenheiten gewisser roter und grüner Farbtöne. Er legte damit den Grund zu einer wissenschaftlichen Erforschung dieser merkwürdigen Abweichung, die ihm noch bei einer Anzahl anderer Personen nachzuweisen gelang, und nach ihm wurde die Störung, deren Wesen man vorläufig noch nicht wissenschaftlich erfassen und erklären konnte, kurzerhand Daltonismus genannt, eine Bezeichnung, die in England selbst allerdings bald durch den Begriff

der Farbenblindheit ersetzt wurde, während sie in Frankreich noch heute gebräuchlich ist.

Seebecks Forschungen. Die ersten wissenschaftlich-systematischen Untersuchungen über diese neue, auch in Deutschland als Farbenblindheit bezeichnete Sehstörung verdanken wir Seebeck, der im Jahre 1837 in Berlin die Zöglinge einer Schulklasse auf ihren Farbensinn untersuchte und über eine Anzahl dabei gefundener Fälle von „vollständiger sowie unvollkommener Farbenblindheit" Näheres berichtete. Er bestätigte die bereits von Goethe erkannte Unsicherheit, die Natur der Farbenuntüchtigkeit lediglich nach den Benennungen zu bestimmen, die der Farbenuntüchtige den einzelnen bunten Gegenständen beilegte, und ließ es sich angelegen sein, die Fehler zu beobachten, die dieser beim Vergleich der Farben begeht, untersuchte also, wie wir es auch heute noch prinzipiell zu tun pflegen, zwischen welchen Farben, die einem normalen Auge verschieden erscheinen, für den Farbenuntüchtigen Ähnlichkeiten bestehen. Wenngleich es auch Seebeck ebensowenig wie Dalton gelang, für den von ihm als „vollkommenen und unvollkommenen Mangel an Farbensinn" bezeichneten Zustand, dessen allmähliche Übergänge zum normalen Farbensinn ihm ebenfalls nicht entgangen waren, eine erschöpfende Erklärung zu geben oder einen Zusammenhang mit dem normalen Farbensinn nachzuweisen, so war doch ein erster, wenn auch noch unvollkommener, wissenschaftlicher Grund gelegt, auf dem erfolgreich weitergearbeitet werden konnte.

Weitere Fortschritte seit Einführung der bunten Signale. Der Anstoß hierzu wurde einmal durch die zunehmenden theoretischen Kenntnisse der Physiologie der normalen Farbenempfindungen gegeben, die wir neben den Engländern Young und Maxwell in erster Linie unserem großen Physiker Helmholtz verdanken. Sodann gewann auf die weitere Erforschung dieses Gebietes die internationale Einführung bunter Signale im Bereiche des Schiffs- und Eisenbahnverkehrs einen maßgebenden Einfluß und gab dem bisher nur als wissenschaftliche Merkwürdigkeit behandelten Gebiete eine unvorhergesehene praktische Bedeutung, als der englische Professor Wilson zuerst auf die vielfachen Gefahren und folgenschweren Irrtümer hinwies, zu denen die Verwechslung der bunten Signale seitens farben-

untüchtiger Beamten Anlaß geben könnte, die sich in solchen Stellen befinden, bei denen, wie vorzugsweise im Schiffs- und Eisenbahnverkehr, bunte Signale richtig gegeben und erkannt werden müssen.

Zwar kam es trotz des bedeutend größeren statistischen, von Wilson beigebrachten Materials weder in der Methodik der Untersuchungen noch in der Kenntnis von der Natur der Farbensinnstörungen zu einem nennenswerten Fortschritt, wohl aber wurde die Erkenntnis von der Bedeutung der mannigfaltigen, bisher übersehenen Beziehungen der Farbenuntüchtigkeit zum praktischen Leben und die Überzeugung von der Möglichkeit der Gefährdung großer Betriebe im See- und Bahnverkehr durch farbenuntüchtige Personen, sowie von der Notwendigkeit ihrer Verhütung in weitere Kreise getragen.

Holmgrens Untersuchungen. Die erfolgreichste Förderung erfuhr die Lehre von den Farbensinnstörungen durch die grundlegenden Studien des schwedischen Physiologen Holmgren, der in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts, veranlaßt durch ein großes, folgenschweres Eisenbahnunglück (bei Lagerlunda 1875), dessen Zustandekommen auf falsches Verständnis der bunten Signale seitens eines später in der Tat als farbenuntüchtig erkannten Bahnbeamten zurückgeführt werden konnte, die Beziehungen zwischen dem normalen Farbensinn und seinen Störungen aufklärte und mit der Young-Helmholtzschen Theorie in Einklang zu bringen suchte. Er baute die Seebecksche Untersuchungsmethode wissenschaftlich aus, vervollkommnete sie für praktische Zwecke und setzte die allgemeine Einführung der nach ihm benannten Farbensinnprobe mit gefärbten Wollbündeln für die Zulassung zum Eisenbahn- und Marinedienst in seinem Vaterlande durch, welchem Beispiele sich bald die übrigen zivilisierten Staaten anschlossen. Seither hat das zunehmende Interesse auf diesem Gebiete die wissenschaftliche Forschertätigkeit der Physiker, Physiologen und Augenärzte aller Länder in wachsendem Maße in Anspruch genommen und im Laufe der letzten Jahrzehnte eine fast unübersehbar gewordene Literatur zutage gefördert. Unter den deutschen Gelehrten, welche sich durch ihre Forschungen um die Bereicherung unserer Kenntnisse von den Farbensinnstörungen besonders verdient gemacht haben, seien nur die Namen Helmholtz, Hering, König, v. Kries, Nagel, Stilling, Guttmann, Köllner, v. Hess genannt.

Ihnen und einer Reihe namhafter ausländischer Forscher, wie Holmgren, Donders, Rayleigh verdanken wir es, wenn z.B. die schwierige Lehre von den Farbensinnstörungen in den wichtigsten Punkten zu einer gewissen abgeschlossenen Übereinstimmung gebracht ist, indem ihre innigen gesetzmäßigen Beziehungen zu dem normalen Farbensehen festgelegt und einigermaßen brauchbare Methoden zu ihrer Erkennung gefunden wurden.

Goethes und Schillers Anteil. Es ist hier der Ort, des bisher viel zu wenig gewürdigten Anteils Goethes an den Bestrebungen, die Beziehungen der Farbenblindheit zum normalen Farbensinn wissenschaftlich festzulegen, mit einigen Worten zu gedenken. Wenngleich seine Schlußfolgerungen, die er in seiner „Farbenlehre" niederlegte und die ihn in einen scharfen Gegensatz zu Newton brachten, das Wesen der Farbenblindheit beruhe in einem Mangel der Blauempfindung, für die er daher den Namen Akyanoblepsie vorschlug, sich als nicht stichhaltig und wissenschaftlich unhaltbar erwiesen, so gebührt ihm doch das große Verdienst, als erster der merkwürdigen Erscheinung der Farbenblindheit einen eigenen und hervorragenden Platz in einem wissenschaftlichen Werk über die Farben zugewiesen und eine theoretische Erklärung dieser Abnormität versucht zu haben. Es ist dabei nicht ohne Interesse, von ihm selbst zu erfahren, daß seine Zweifel, worauf das merkwürdige Verwechseln der Farben bei gewissen Menschen beruhe, erst von Schiller gelöst wurden, der auf seine Anfrage dahin entschied, diesen fehle die Empfindung des Blau. An den beiden von ihm untersuchten Fällen hat Goethe die Verwechslungsfarben der Farbenblinden richtig festgestellt und bereits erkannt, daß „sich die Farben für sie durch kleine Schattierungen des Helleren, Dunkleren, Schwächeren voneinander abzusondern scheinen". Auch hat er als erster auf methodische Untersuchungen der Farbenblinden gedrungen und hierfür eine auf dem heute noch anerkannten Prinzip der Verwechslungsfarben begründete Farbentafel hergestellt.

Elftes Kapitel.

Die totale Farbenblindheit (Achromasie, Monochromasie.)

Benennungen und Begriffe. Unter den verschiedenen Formen, in denen sich die angeborenen Störungen des Farbensinns äußern können, nimmt die sogenannte „totale Farbenblindheit" eine besondere Stellung ein, indem sie die hochgradigste Herabsetzung des Farbensinns, bestehend in einer vollkommenen Unempfindlichkeit des Sehorgans gegen alle bunten Eindrücke, darstellt. Bei ihr kommt es überhaupt nicht zu einem Bewußtwerden von bunten Unterschieden im Sinne des normalen Farbensinnes. Es handelt sich also um einen vollständigen Ausfall des Erkennungs- und Unterscheidungsvermögens für bunte Farben, und für die mit einem solchen Zustande behafteten Individuen ist die Bezeichnung „totale Farbenblindheit" durchaus gerechtfertigt. Es ist indes wiederholt darauf hinzuweisen, daß sich dieser Zustand der totalen Farbenblindheit keineswegs mit dem Begriff deckt, den der Sprachgebrauch des gewöhnlichen Lebens mit dem Worte „Farbenblindheit" zu verbinden gewohnt ist, unter der man vielfach noch in weit umfassenderer Weise sämtliche Störungen des Farbensinns, also auch die unvollständigen Mängel des normalen Farbensehens zu verstehen pflegt, die nur in einer größeren oder geringeren Unempfindlichkeit gegen gewisse Farbtöne bestehen. Will man trotzdem, entgegen allen Zweckmäßigkeitsgründen, dem einmal bestehenden Sprachgebrauch Rechnung tragend, auch für die leichteren Farbensinnstörungen den Ausdruck „Farbenblindheit" beibehalten, so sind ihm zum mindesten jeweils die kennzeichnenden Beiwörter „totale" (vollkommene), und „partielle" (teilweise) beizufügen. Im Verlauf dieser Darstellungen werden wir indes zur Vermeidung von Irrtümern und Begriffsverwechslungen den Begriff der Farbenblindheit nur für die Form der typischen totalen Farbenblindheit vorbehalten, der er dem

Sinne des Wortes nach einzig und allein wirklich zukommt und für die anderen Gruppen unter möglichster Vermeidung dieses Wortes andere, sinngemäßere Bezeichnungen wählen. Ein weiterer Grund, die Bezeichnung Farbenblindheit allein auf die vollständige Unempfindlichkeit gegen bunte Eindrücke zu beschränken und sie nur für solche physiologische Begriffe zu brauchen, mit denen sie sich wirklich deckt, besteht darin, daß diese Farbensinnstörung im Gegensatz zu den anderen Formen einen engbegrenzten und einheitlichen Zustand darstellt, der, soweit bis jetzt bekannt, keine Übergänge von ihm zu den Dichromaten und Trichromaten aufweist, während solche mit allen möglichen Zwischenstufen zwischen den beiden letzteren und sogar innerhalb jedes einzelnen dieser Systeme bestehen. Die Monochromasie kann deshalb auch nicht in dem engeren Sinne wie die anderen Systeme als Reduktionsform des normalen oder eines dichromatischen Systems aufgefaßt werden, sondern sie steht diesen völlig beziehungslos gegenüber.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß sich in den Augen eines total Farbenblinden die Welt in der eigentümlichsten und uns nur schwer vorstellbaren Weise wiederspiegeln muß. An Stelle der leuchtenden Pracht der Farben in der Natur, die wir mit Genuß und Bewunderung empfinden und in künstlicher Nachahmung wiederzugeben uns bemühen, sind dem total Farbenblinden nur die Qualitäten der Helligkeitsempfindung vom hellsten Weiß über die Stufenleiter der grauen Abtönungen zum dunkelsten Schwarz wahrnehmbar. Einem solchen „Gesamtfarbenverwechsler", wie man ihn bezeichnen könnte, erscheint die bunte Umwelt ähnlich, wie sie in einem Stich oder einer photographischen Aufnahme wiedergegeben ist. Mit anderen Worten, alle Farben werden für ein- und gleichfarbig gehalten und daher alle miteinander verwechselt. Infolgedessen spricht man bei solchen Individuen von einem Einfarbensystem (Monochromasie) oder einem farblosen, unbunten System (Achromasie). Dabei muß es allerdings zweifelhaft bleiben, ob der einzige Farbton, in welchem dem total Farbenblinden die Umwelt erscheint, nich doch mit einem gewissen bunten Ton, z. B. Blau oder bläulich, anstatt mit dem präjudizierten Grau übereinstimmt, da wir ja von einem Menschen, der überhaupt nichts von einem normalen Farbensehen weiß, auch kein Urteil darüber erwarten können. Trotzdem aber die total Farben-

blinden nicht wissen, was Farbe bedeutet, können doch auch sie in der Erfahrung des täglichen Lebens es ihrer Umgebung abgelernt haben, Farbenbenennungen für die gewohnten Gegenstände richtig anzuwenden, da sie es verstehen, aus der Form und Oberfläche der Dinge, aus dem Fehlen oder Vorhandensein von Schatten, Glanz, Reflexen usw. indirekte Schlüsse auf die Farbe zu ziehen, wenn sie nicht mit Rücksicht auf die vielen Verwechslungen, die ihnen auf Schritt und Tritt begegnen, es vorziehen, mit ihrem Urteil darüber zurückzuhalten. Vor allem aber verstehen sie, ihr außergewöhnlich feines Gefühl für Schattierungen und Helligkeitsabstufungen in geschicktester Weise zur Beurteilung der Farbenqualität zu verwerten. Legt man ihnen z. B. einen roten oder grünen Gegenstand vor, so erscheint ihnen ersterer tief dunkel, fast schwarz, letzterer im allgemeinen viel heller, grau, fast weiß. Fordert man sie auf, aus einer Anzahl bunter Papiere die roten zu wählen, so treffen sie diese zumeist richtig, indem sie die für sie dunkelsten wählen und erwecken dadurch den Anschein einer gewissen Fähigkeit der Farbenwahrnehmung. Legt man ihnen aber außer den bunten auch noch dunkelgraue bzw. fast schwarze Papiere vor, so vermögen sie diese von den roten nicht zu unterscheiden, ebenso bestimmte hellgraue nicht von grünen usw. Trotzdem sind sie, soweit sie nach Intelligenz und Bildung dazu imstande sind und das stark herabgesetzte Sehvermögen es überhaupt zuläßt, gewisser ästhetischer Empfindungen fähig, denn erfahrungsgemäß schließen sich totale Farbenblindheit und künstlerische Betätigung keineswegs aus. Im großen und ganzen ist aber doch der Zustand für die davon Betroffenen ein recht trostloser und hat auch insofern für sie eine große praktische Bedeutung, als sie von einer ganzen Reihe von Berufsarten naturgemäß von vornherein ausgeschlossen sind und auf Schritt und Tritt ihre Minderwertigkeit gegenüber ihren Mitmenschen fühlen. Dazu führt nicht nur der auffällige Mangel des Farbensinns, sondern noch einige andere regelmäßige Begleiterscheinungen, die der totalen Farbenblindheit im Gegensatz zu allen anderen Farbensinnstörungen eigentümlich sind. Diese bestehen hauptsächlich in einer starken Herabsetzung des Sehvermögens, das selten $^1/_3$ bis $^1/_4$ des normalen erreicht, ferner in einer auffallenden, von Blinzeln begleiteten Scheu vor grellem Licht, so daß bei heller Beleuchtung das Sehvermögen schlechter ist als bei gedämpftem Licht, und endlich in

einem eigenartigen Zittern des Augapfels, das als Nystagmus bezeichnet wird. Die Art und Weise des Sehens eines großen Teiles dieser Farbenblinden ist ferner dadurch gekennzeichnet, daß die sonst das schärfste Sehen vermittelnde Stelle der Netzhautmitte, die Netzhautgrube, bei ihnen für Licht unempfindlich ist und sie nur mit den seitlich gelegenen Netzhautteilen sehen. Aus alledem ergibt sich ohne weiteres, daß der ganze Zustand leicht erkennbar und auch den von ihm betroffenen bedauernswerten Individuen vollauf bewußt ist. Erwähnt sei noch, daß die Albinos unter ihren sonstigen Anomalien auch die totale Farbenblindheit recht häufig nachweisen lassen.

Das Spektrum der total Farbenblinden. Der einzigen vorhandenen Reizart des Lichtes entsprechend erscheint dem total Farbenblinden das Spektrum nur als ein unbunter, grauer Streifen von verschiedener Helligkeit. Man kann daher am Spektralapparat bei einem total Farbenblinden bei Einstellung jedes beliebigen verschiedenfarbigen Lichterpaares lediglich durch Regulierung der Helligkeit Gleichungen erzielen; seine Gleichungen sind also keine Farben-, sondern nur Helligkeitsgleichungen. Nun sollte man annehmen, daß das Spektrum des Farbenblinden mit demjenigen eines Normalen bis auf den Wegfall der Farbenqualitäten übereinstimme, d. h., daß die Helligkeitsverteilung, also die Stufenleiter vom langwelligen dunklen Ende über die hellste Stelle zum kurzwelligen dunklen Ende bei beiden die gleiche sei. Das ist aber keineswegs der Fall.

Bei der Erörterung der Farbenempfindungen des Normalen beim Sehen in der Dämmerung wurde festgestellt, daß das Spektrum bei geringer Lichtstärke, also bei herabgesetzter Beleuchtung, seinen bunten Charakter allmählich verliert und schließlich nur noch als verschieden heller Streifen, aber vollkommen unbunt, grau gesehen wird. Aus dem ursprünglich normalen, trichromatischen, dreifarbigen System ist ein monochromatisches, einfarbiges geworden, in welchem jedes homogene Licht den gleichen Empfindungston hervorruft, wie das andere, und in dem die Empfindungen sich nur durch die verschiedenen Helligkeiten voneinander unterscheiden. Wir sahen auch, daß sich bei dieser herabgesetzten Beleuchtung die Helligkeitsverteilung im spektralen Bande in charakteristischer Weise verändert, indem sich die hellste, sonst bei Wellenlänge 580 gelegene und gelb

erscheinende Stelle immer mehr nach dem kurzwelligen Ende zu verschiebt und bei so weit gesunkener Beleuchtung, daß der Verlust der bunten Empfindung vollkommen ist, in die Gegend von 530 zu liegen kommt, die uns beim Tageslicht grün erscheint. Infolge dieser Verschiebung gewinnen bei abnehmender Beleuchtung die kurzwelligen blauen Lichter relativ zu den langwelligen roten erheblich an Helligkeit, verlieren allerdings gleichzeitig etwas an Sättigung, und die Unempfindlichkeit für rote Lichter äußert sich in einer Verkürzung des langwelligen Spektralteiles. Das gilt natürlich sinngemäß auch für die betreffenden Pigmentfarben; während das Blau eines blauen Gegenstandes relativ immer heller und blaßblauer gesehen wird, erscheint das Rot und Gelbrot immer dunkler, es wird braun und schließlich nahezu schwarz. Daher kommt es auch, daß im allgemeinen bei sinkender Beleuchtung blaue Farbtöne länger erkannt werden als rote, die zuerst verschwinden (Purkinjesches Phänomen), bis zuletzt alle bunten Unterschiede verschwinden und bei genügend herabgesetzter Beleuchtung das Auge, wie schon die Erfahrung einen jeden lehrt, alles grau in grau ebenso wie der total Farbenblinde sieht. In diesem Zustande des Dämmerungssehens kann am Spektralapparat mit jedem beliebigen einzelnen bunten Lichtreiz immer dieselbe Sehqualität hervorgerufen werden, lediglich dadurch, daß man seine Lichtstärke verändert. Es werden nunmehr keine Farben, sondern nur noch Helligkeitsunterschiede wahrgenommen, einerlei, ob man zwei oder mehrere gleichbunte oder verschiedenbunte Lichter miteinander vergleicht.

Dieser für jedes Auge lediglich durch hinreichende Herabsetzung der Beleuchtung zu erreichende Zustand der Monochromasie findet sich in vollkommen gleicher Weise mit all den genannten Merkmalen bei der Mehrzahl der Fälle von angeborener totaler Farbenblindheit wieder. Es stimmt also das spektrale Verhalten des total farbenblinden Auges —bei Helladaptation —überein mit demjenigen des normalen Auges bei Dunkeladaptation und ist im Gegensatz zum normalen von Lichtstärke und Adaption ziemlich unabhängig. Das total farbenblinde Auge sieht demnach das Spektrum bei allen Lichtstärken so, wie das normale, dunkeladaptierte bei passend herabgesetzter Lichtstärke. Es weist daher auch bei der spektralen Untersuchung unter verschieden heller Beleuchtung keine Änderung in der Helligkeitsverteilung auf, und Gleichungen, die der total Farbenblinde zwischen

zwei beliebigen bunten oder einem bunten und einem unbunten Lichte herstellt, stimmen annähernd oder genau auch für das dunkeladaptierte bei geringer Lichtstärke sehende Auge des Normalen. Nach alledem liegt es sehr nahe, anzunehmen, daß die Netzhaut des farbenblinden Auges entweder des das Farbensehen vermittelnden Zapfenapparates ganz ermangelt oder nur einen solchen Zapfenapparat besitzt, der keine Farbenempfindungen vermittelt. Im ersteren Falle entspräche das Tagessehen eines solchen Auges der Funktion des Stäbchenapparates, also der außen gelegenen Netzhautteile mit ihren physiologischen Eigentümlichkeiten der Lichtscheu, des herabgesetzten Sehvermögens, der Farbenblindheit und der Blindheit gerade der zentralen Stelle, wo sonst nur Zapfen vorhanden sind. Es stünde demnach bei einem solchen total farbenblinden Auge dem unvollkommenen zentralen Sehen eine normale, seitliche Sehschärfe gegenüber. Ein mit einem derartig unvollkommenen Zapfenapparat ausgestattetes Auge würde entwicklungsgeschichtlich als ein Übergangsstadium von dem total farbenblinden des vorweltlichen Urmenschen auf der ersten Stufe der allmählichen Vervollkommnung zu seinem jetzigen Zustand anzusehen sein. In der Tat gibt es Fälle von totaler Farbenblindheit, deren spektrale Helligkeitswerte beim Tagessehen übereinstimmen mit den Werten, die für das helladaptierte normale gelten und wo auch keine Lichtscheu usw. vorhanden ist. Jedenfalls sind die Stäbchen in entwicklungsgeschichtlicher Hinsicht als das primäre Element anzusehen, dem auch in physiologischer Beziehung die einfachere Funktion, nämlich hauptsächlich die Vermittlung der unbunten Reize zukommt, während die Zapfen sich in der Entwicklungsreihe erst aus jenen herausgebildet haben und den späteren, entwickelteren und daher vollkommeneren Typus darstellen, denen auch die vollkommenste Funktion der Netzhaut, nämlich das Erkennungs- und Unterscheidungsvermögen für bunte Farben zufällt. Glücklicherweise kommt die totale Farbenblindheit nur ganz ausnahmsweise vor. Man kann annehmen, daß erst auf 30 000 bis 50 000 Männer oder noch mehr 1 total Farbenblinder kommt, während das weibliche Geschlecht noch viel seltener von der Störung betroffen wird.

Wie alle angeborenen Farbensinnstörungen, ist auch die beschriebene doppelseitig, und wird auf die bereits erwähnte gesetzmäßige Weise vererbt, so daß in einer Familie nicht selten mehrere Geschwister davon befallen sind.

Zwölftes Kapitel.

Die dichromatischen Farbensinnstörungen.

(Dichromasie, partielle Farbenblindheit, Grünrotverwechslung, Grünrotblindheit).

Benennungen auf Grund der Mischungsverhältnisse spektraler Lichter. Von viel größerem praktischen Interesse als die soeben beschriebene ist eine angeborene Farbensinnstörung, die sich physiologisch kurz dahin kennzeichnen läßt, daß das Farbensystem einer Reihe von Menschen weder ein trichromatisches wie das normale, noch ein mono- oder achromatisches wie das des total Farbenblinden ist, sondern ein dichromatisches, d. h. zweifarbiges ist, womit gleichzeitig eine Art Mittelstellung angedeutet wird, die es zwischen den beiden anderen einnimmt. Indes ist es in dieser Mittelstellung von der Monochromasie scharf zu trennen, da wir Übergangsstufen zu dieser nicht kennen, während solche zu der Trichromasie wohl vorhanden sind und infolgedessen eine scharfe Abgrenzung dieser gegenüber wenigstens vorläufig noch erschweren, ja unter Umständen unmöglich machen. Gehen wir wie bei der monochromatischen Farbensinnstörung zunächst wieder zur Erleichterung des Verständnisses auf die Verhältnisse beim regelmäßigen Farbensehen der Trichromaten zurück, wie sie sich aus dem Verhalten der Mischungsgleichungen am Spektralapparat ergaben, so konnte für das normale trichromatische Auge zu jedem beliebigen Spektrallichte oder Lichtgemisch eine diesem gleich aussehende Mischung nur aus mindestens drei bestimmten verschiedenen homogenen Lichtern hergestellt werden, und es ließ sich das Zustandekommen der normalen Farbenempfindungen auf das Zusammenwirken von den drei Grundempfindungen Rot, Grün und Blau bzw. Veil zurückführen. Dieses System des Dreifarbensehens, das trichromatische, ermöglichte es, alle überhaupt vorkommenden Farbenempfindungen in unserem Sehorgan auszulösen, während bei der Monochromasie überhaupt keine Mischung verschiedenfarbiger Lichter notwendig war, sondern jede

mögliche Empfindung durch jedes Licht erzielt werden konnte, nur dadurch, daß man seine Lichtstärke entsprechend veränderte. Mit weniger als drei, z. B. mit nur zwei, oder gar, wie beim total farbenblinden Monochromaten, mit nur einem homogenen Licht, ist es für kein normales Auge möglich, alle im Spektrum vorhandenen Farbtöne zu erzeugen. Nun gibt es aber auch Menschen, bei denen schon zwei verschiedene Lichter am Spektralapparat genügen, um alle von ihnen verschieden empfundenen bunten Reizwirkungen hervorzurufen. Natürlich sind es, ebenso wie die drei Lichter beim Trichromaten, nicht zwei beliebige, sondern zwei Lichter von ganz bestimmter Wellenlänge, die aus den Enden des Spektrums gewählt werden müssen, und zwar ein von dem Normalen als rot und ein als blau empfundenes Licht, die beide in ihren verschiedenen Mischungen schon hinreichen, um alle diesen Menschen überhaupt möglichen verschiedenen Licht- und Farbenreizwirkungen hervorzubringen. Man bezeichnet daher solche Individuen wissenschaftlich als Dichromaten (Zweifarbenseher) und stellt sie in Gegensatz zu den Mono- und den Trichromaten, spricht bei ihnen von dem Vorhandensein eines dichromatischen (Zweifarben-) Systems und nennt diesen ihren Zustand Dichromasie. Damit wird ausgedrückt, daß bei den hierher gehörigen Farbensinnstörungen eigentlich nur zwei Farbtöne außer den Abstufungen von Schwarz zu Weiß unterschieden werden. Aus diesem Grunde werden sie vielfach auch als „partielle Farbenblindheit" bezeichnet, und zwar einmal, um sie durch das Beiwort „partiell" in Gegensatz zu dem scharf abgegrenzten Zustand der totalen Farbenblindheit zu stellen, alsdann, um dadurch die Unempfindlichkeit nur gegen einen Teil der bunten Lichter zum Ausdruck zu bringen. Den Zustand aber, wie es vielfach noch geschieht, schlechthin als „Farbenblindheit" zu bezeichnen, wurde bereits als irreführend und begriffsverwirrend abgelehnt. Besser würde man noch von Farbenverwechslung und von Farbenverwechslern sprechen, denn die Herabsetzung des Farbensinnes äußert sich nicht darin, daß einzelne Farbtöne überhaupt nicht gesehen werden, wie es dem Begriff Farbenblindheit entsprechen würde, sondern darin, daß gewisse Farbtöne, die dem Normalen durchaus verschieden erscheinen, als gleichfarbig empfunden werden, so daß sie miteinander verwechselt werden. Da diese Ver-

wechslungsfarben in der Hauptsache von grünen und roten Farbtönen dargestellt werden, nennt man diese Farbenuntüchtigen vielfach auch Grünrotblinde oder besser Grünrotverwechsler.

Liegt beim Sehen des total Farbenblinden der Vergleich mit dem Dämmerungssehen des Normalen nahe, an dem hauptsächlich die am meisten außen gelegenen Netzhautpartien beteiligt sind, so steht das Sehen der Farbenuntüchtigen der dichromatischen Systeme in engen Beziehungen zu dem Sehen, wie es die weniger außen gelegenen Netzhautteile im normalen Auge vermitteln. Wie wir sahen, fällt bei der Betrachtung mit den rund um die Netzhautgrube gelegenen Teilen der Netzhaut zuerst die Empfindung des Farbenpaares Rot-Grün und bei weiterer Entfernung von der Netzhautgrube auch die Blau-Gelbempfindung aus, ehe bei Betrachtung mit der am weitesten außen gelegenen Netzhautzone überhaupt keine Farben-, sondern nur noch Helligkeitsempfindungen zustande kommen. Man kann somit sagen, daß nacheinander erst der Rot-Grünsinn, sodann der Blau-Gelbsinn von der Netzhautmitte nach der Peripherie allmählich abnimmt, und zwar ersterer wesentlich schneller als letzterer.

Nicht anders ist es beim Sehen der Dichromaten, bei denen entweder nur die Blau-Gelb- oder die Rot-Grünempfindung erhalten ist. Da der Ausfall der Blau-Gelbempfindung nur in äußerst seltenen Fällen als angeborener Zustand angetroffen wird, so fällt er als praktisch unwichtig außer Betracht und hat lediglich ein theoretisch-wissenschaftliches Interesse. Im Gegensatz dazu ist aber der Mangel der Rot-Grünempfindung so häufig, daß er so gut wie allein für diese Form der Farbenuntüchtigkeit in Frage kommt und deshalb eine eingehendere Würdigung finden muß.

Die Formen des Zweifarbensehens. Am Spektrum hat man auch für die dichromatischen Systeme durch quantitative Messungen die jeweils zu den Lichtmischungen benötigten Mengenverhältnisse festgestellt, um die gleiche Farbenempfindung wie bei den einzelnen homogenen Lichtern hervorzurufen. Wie wir schon beim normalen trichromatischen System sahen, nennt man diese Bestimmung der Mengenverhältnisse die „Eichung“ eines Spektrums, die beiden Mischlichter bezeichnet man als „Eichlichter“ und die gefundenen Mischungsanteile als „Eichwerte“. Die für das Spektrum eines

Dichromaten gefundenen beiden Lichter befinden sich, wie gesagt, an den beiden Enden, im lang- und im kurzwelligen Ende des Spektrums und entsprechen einem Rot von etwa 650 Wellenlänge und einem Blau von etwa 450 Länge. Mischt man in einem Spektralapparat diese beiden Lichter miteinander und läßt sie von einem Dichromaten mit irgendeinem beliebigen homogenen Lichte vergleichen, so erreicht man durch entsprechende Änderungen der Mengenverhältnisse sowie der Helligkeiten, daß schließlich die Lichtmischung dem zum Vergleich gewählten homogenen Licht oder Lichtgemisch in Farbe und Helligkeit vollkommen gleich erscheint. Auf diese Weise erhält man für eine ganze Reihe von homogenen Lichtern jedesmal genaue, zahlenmäßig feststellbare Rot- und Blaumengen, die dem betreffenden homogenen Vergleichslicht an Farbe und Helligkeit absolut gleich erscheinen. Die gefundenen Anteile des Rot nennt man auch Warmwerte, die des Blau Kaltwerte. Bei einem Trichromaten wäre das natürlich unmöglich zu erreichen, da für ihn die beiden genannten Lichter dazu nicht ausreichen, er vielmehr noch der Beteiligung eines dritten, nämlich des in der Mitte des Spektrums befindlichen grünen Lichtes bedarf, um die verlangte Gleichung mit dem homogenen Lichte zu erzielen. Es erhellt daraus, daß das Farbensystem eines Dichromaten demjenigen des Trichromaten gegenüber als herabgesetzt, vereinfacht, „reduziert“ erscheint. Die für die Gleichungen zwischen dem Farbengemisch aus Rot und Blau einerseits und dem homogenen Vergleichslicht andererseits gewonnenen zahlenmäßigen Werte lassen sich durch Eintragung in eine Kurve (Eichwertkurve) zur bildlichen Veranschaulichung bringen, und man findet dabei, daß man in allen Fällen überhaupt nur drei verschiedene Arten solcher Eichwertkurven antrifft, die alle drei stets in gleicher Form wiederkehren, also typisch sind. Für diese drei Kurvenarten (die natürlich nichts anderes als nur die Lichtmischungsverhältnisse der beiden bunten Mischungsanteile versinnbildlichen), ist es nun charakteristisch, daß diejenige Kurve, welche die Mengenanteile des blauen Lichtes darstellt, also des Lichtes der brechbareren, kurzwelligen Spektralhälfte, stets vollkommen unverändert bleibt. Dahingegen stellt sich die von dem Anteil des roten, dem langwelligen, weniger brechbaren Spektralende entstammenden Lichtes gewonnene Kurve in zwei verschiedenen, doch ebenfalls stets gleichartig wiederkehrenden Formen dar und zeigt

dadurch an, daß entweder das eine oder das andere der durch die Kurven zum Ausdruck gebrachten Mischungsverhältnisse aus dem roten Anteil vorliegt. Da nun in jedem einzelnen Falle, den beiden zur Mischung notwendigen Lichtern entsprechend, zwei Kurven das Mischungsverhältnis darstellen, so fehlt jedesmal eine der drei typischen Kurven des Trichromaten, und die beiden anderen können in drei verschiedenen Kombinationen auftreten, je nachdem die erste, zweite oder dritte Kurve, geordnet nach ihrer Lage von Rot nach Blau, fehlt. Aus dem Fehlen je einer dieser drei Kurven ist die Benennung der drei Arten des dichromatischen Farbensystems hergeleitet, indem man je nach dem Ausfall der ersten, zweiten oder dritten Kurve von Protanopie, Deuteranopie und Tritanopie spricht. Bei der Protanopie fehlt die erste Rotwertkurve, und vertreten sind nur die zweite Rotwertkurve und die Blauwertkurve; bei der Deuteranopie fehlt die zweite Rotwertkurve, und vertreten ist nur die erste Rotwertkurve und die Blauwertkurve; bei der Tritanopie endlich fehlt die Blauwertkurve, und es sind nur die beiden Rotwertkurven vertreten.

In einer dieser drei Formen stellen sich also die Mischungsverhältnisse bei jedem Individuum dar, welches bei der Prüfung an einem dazu geeigneten Spektralapparat mit nur zwei verschiedenen Lichtern, einem roten und einem blauen, alle von ihm verlangten Gleichungen mit einem beliebigen, ihm eingestellten Lichte herstellt.

Theoretische Rückschlüsse auf das Farbensehen der Dichromaten. Die Lichtmischungsgleichungen. Wenn wir nun diese am Spektralapparat gefundenen Ergebnisse auf das mutmaßliche Farbensehen der Dichromaten anzuwenden suchen, so ergibt sich aus dem verschiedenen Kurvenlauf ohne weiteres, daß auch das Farbensehen der Protanopen, Deuteranopen und Tritanopen, wie man die Vertreter der betreffenden Systeme nennt, ein verschiedenes sein muß, ohne daß mit diesen Bezeichnungen vorläufig etwas anderes zum Ausdruck gebracht werden soll als die Gesetzmäßigkeit der Zweilichtermischungen, wie sie sich aus den Verschiedenheiten der Eichwertkurven ergeben. Sie geben zwar über die Beschaffenheit der Farbenempfindungen und Farbtöne, die der Dichromat im Spektrum unterscheidet, keine unmittelbare Auskunft, trotzdem läßt aber die immer gleichmäßig wiederkehrende Linienführung der Kurven bestimmte

grundsätzliche Schlüsse auf die Farbenempfindung der Dichromaten zu. Da die Verschiedenheit der Kurve der Protanopen und derjenigen der Deuteranopen sich nur auf die langwellige rote Strecke des Spektrums beschränkt, die Blauwertkurve aber bei beiden dieselbe ist, muß notwendigerweise die Verschiedenheit im Farbensehen beider Systeme zu diesen beiden verschiedenen Rotwertkurven in Beziehung stehen. Die Mengenanteile des dem langwelligen roten Spektralende angehörigen Lichtes sind, wie die Gipfelunterschiede der Kurven (s. Fig. 24 ff.) zeigen, bei beiden Systemen deutlich verschieden. Beim Protanopen beginnt die Rotwertkurve erst weiter ab nach rechts und ihr Gipfel ist entsprechend mehr gegenüber demjenigen des Deuteranopen nach dem kurzwelligen Ende hin verschoben; daher erscheint beim Protanopen das langwellige Spektralende etwas verkürzt, und der Reizwert des roten Lichtes ist um soviel geringer als beim Deuteranopen. Beim Einstellen einer Gleichung zwischen einem Rot-Blaugemisch und einem gelben Lichte z. B., wie es eine Natriumflamme liefert, bedarf daher der Protanope eines vielfach größeren Rotanteils als der Deuteranope, der für beide etwa im Verhältnis 5 : 1 steht. Dementsprechend braucht der Deuteranope nur $^1/_5$ des vom Protanopen benötigten roten Lichtes, um ein gleichfarbiges und gleichhelles Gelb zu erhalten. Um so viel also ist das rote Licht reizloser für den Protanopen, den man auch als „rotblind“ bezeichnet, als für den Deuteranopen. Weiterhin folgt aus diesen Verhältnissen, daß der Protanope, um zu der Gleichung zu gelangen, zu einem bestimmten Rot, dessen Lichtstärke er nicht steigern kann, ein fünfmal dunkleres Gelb einstellen muß, um den ihm mangelnden Reizwert des Rot auszugleichen. Natürlich wird weder der Protanope die Gleichungen des Deuteranopen, noch dieser die Gleichungen jenes als richtig anerkennen können, und ebenso selbstverständlich ist es, daß der normale Trichromat, der zu seinen ihm entsprechenden Gleichungen mit nur zwei verschiedenen Lichtern überhaupt nicht zum Ziele einer Gleichung gelangen kann, die Gleichungen weder des Protanopen noch des Deuteranopen als richtig anerkennen kann. Ebenso wie für das Rot, lassen sich auch für andere Lichter derartige Reizwertunterschiede der Protanopen und Deuteranopen feststellen; z. B. hat für den letzteren ein bestimmtes Grün, nur einen halb so großen Reizwert, erscheint ihm also doppelt so hell wie dem ersteren, weshalb er als „grünblind“ bezeichnet wird

und es wird dadurch klar, wie sich durch die verschiedenen Lichtmischungsverhältnisse diese beiden Gruppen sowohl untereinander als vom normalen Trichromaten charakteristisch unterscheiden.

Das Spektrum des Dichromaten. Alle diese Verhältnisse finden wir bestätigt, wenn wir die dichromatischen Reizwertkurven mit dem Spektrum vergleichen, wie es dem Dichromaten und dann dem Trichromaten erscheint. Das dem normalen Trichromaten in der bekannten Weise erscheinende bunte Spektralband zerfällt beim Protanopen und Deuteranopen in zwei deutlich durch eine unbunte, grauweißliche Zone getrennte Hälften, von denen die eine, der langwellige linke Teil, in einem warmen, gelblichen, und die andere, rechte, kurzwellige, in einem kalten, bläulichen Farbtone erscheint (s. Tafel I). Die hellste dazwischenliegende Stelle der grauweißlichen, als „neutral" bezeichneten Zone entspricht ungefähr dem Blaugrün des normalen Spektrums. Der warme, gelbe Teil reicht vom normalen Gelbgrün bis zum äußersten Rot, während die kalte, blaue Hälfte mit der normalen Zone vom Blaugrün bis zum Veil übereinstimmt. Wir sahen früher, daß diese „Endstrecken" dadurch ausgezeichnet sind, daß sich in ihnen der Farbton als solcher nicht mehr ändert, sondern nur in seinen Helligkeiten derart abweicht, daß die entsprechenden Farbtöne nach den beiden Enden zu an Helligkeit immer mehr einbüßen, bis sie ganz unsichtbar werden. Diese Endstrecken fehlen auch den dichromatischen Spektren nicht, aber sie erscheinen, namentlich am langwelligen Ende, ganz wesentlich verlängert, da alles, was der Trichromat als rot, gelbrot, gelb und gelbgrün unterscheidet, dem Dichromaten einfarbig gelblich und nur verschieden in der Helligkeit erscheint. An dem kurzwelligen Ende ist die Erscheinung nicht so deutlich ausgeprägt, aber auch hier vorhanden, da Blau und Veil vom Dichromaten als Farbe nicht unterschieden werden können.

Diese, dem protanopischen und dem deuteranopischen System gemeinsamen Merkmale ihres Spektrums — das tritanopische erfordert eine gesonderte Besprechung — sind aber einander völlig identisch nur in der kurzwelligen, blauen Hälfte vertreten. Im roten, langwelligen Teil ergibt sich dagegen für die beiden dichromatischen Systeme insofern eine charakteristische Verschiedenheit, als das Spektrum des

Protanopen im Einklang mit der bereits gekennzeichneten, viel geringeren Erregbarkeit für Rot eine deutliche Verkürzung der an sich dem Trichromaten gegenüber verlängerten oder vielmehr verbreiterten, langwelligen Endstrecke aufweist, indem er den äußersten Teil dieser ganzen roten Endstrecke überhaupt nicht sieht (Rotblindheit). Um diesen Teil der linken Endstrecke ist also sein Spektrum kürzer als dasjenige des Deuteranopen, welches in dieser Hinsicht mit jenem des Trichromaten übereinstimmt. Dahingegen sind die neutralen Zonen des zwischen Gelb und Blau liegenden Grau bei beiden dichromatischen Systemen annähernd identisch und finden ihre Übereinstimmung bei den aufeinandergelegten Kurven der Eichwerte dadurch ausgedrückt, daß die Stelle des hellsten Grau — der neutrale Punkt — in den Schnittpunkt beider Kurven fällt.

Es sei vorweggenommen, daß bei der dritten Form des dichromatischen Systems (siehe S. 192), der Tritanopie, Blaugelbblindheit, die dritte Kurve, vom linken Ende des Spektrums an gezählt, fehlt und nur die beiden Warmwertkurven vertreten sind. Dementsprechend hört die Farbenempfindung des Tritanopen im Blau des Normalen auf, und das Spektrum erscheint um den rechts vom Blau liegenden veilen Teil verkürzt. Sie wird deshalb auch Blau- oder Veilblindheit genannt. Der Schnittpunkt der beiden Warmwertkurven zeigt auch hier die unbunte, neutrale Stelle an, die in das Grüngelb des Normalen fällt.

Das Farbensehen der Dichromaten. Es erhebt sich nun die Frage, welche weiteren Schlußfolgerungen aus diesen Erörterungen auf das Farbensehen der Dichromaten zu ziehen sind. Auf ihre eigenen Angaben hierüber können wir uns nur bei den in ganz außerordentlich seltenen Fällen beobachteten einseitig Farbenuntüchtigen verlassen, wo das normale Auge zum Vergleich dient und eine gegenseitige Kontrolle ermöglicht. Sonst aber dürfen wir von ihnen eine richtige Charakterisierung nicht erwarten, da ihnen ja die für den Normalen maßgebenden Empfindungen ganz oder teilweise fehlen, was sich schon in der Verschiedenheit ihrer Benennungen je nach der Intensität und der Helligkeit der Lichter äußert. Denn die Farbenqualität der Lichter können sie nur nach der größeren oder geringeren Übereinstimmung mit ihren sonstigen, aus der täglichen Übung gewonnenen Erfahrungen

über die bunte Natur der Gegenstände beurteilen. Eher können wir ein zutreffendes Urteil erwarten, wenn wir uns von malkundigen Dichromaten die Farbe der fraglichen Spektrallichter nachmalen lassen, und in der Tat verwenden sie dazu vorwiegend gelbliche und bläuliche Farbtöne, was auch mit den Angaben einseitig farbentüchtiger Dichromaten, soweit solche vorliegen, übereinstimmt. Sehen wir aber von ihren eigenen subjektiven Angaben ganz ab und lassen uns nur durch die am Spektralapparat gefundenen und in den Eichwertkurven versinnbildlichten Ergebnisse leiten, so gelangen wir zu folgenden Feststellungen:

Das weiße, unzerlegte Tageslicht sehen alle Dichromaten weiß bzw. unbunt; sie unterscheiden sich hierin demnach in keiner Weise von den Normalen. Die Dichromaten sehen aber auch ein Licht, welches dem Normalen bläulichgrün erscheint, unbunt, also grau. Das diesem Blaugrün bei der Eichung vom Dichromaten als gleichwertig aufgefundene Rotblaugemisch sieht der Normale purpurfarben; die Dichromaten verwechseln daher zwei Farbtöne, welche für den Farbtüchtigen den höchsten Sättigungsgrad besitzen, nämlich Blaugrün und Purpur, mit unbuntem Grau. Sie verwechseln also schlechthin rote und grüne Farbtöne, während die Fähigkeit, Blau und Gelb, sowie natürlich Schwarz und Weiß zu erkennen, im allgemeinen in gleicher oder wenigstens, was Blau und Gelb anlangt, in ähnlicher Weise wie beim Normalen vorhanden ist. Aber diese Verwechslungen roter und grüner Farbtöne sind beim Protanopen wesentlich anderer Natur als beim Deuteranopen. Der erstere mußte, wie wir sahen, um ein dem Blaugrün gleich erscheinendes Gemisch herzustellen, einem sehr lichtstarken Rot einen relativ geringen Blauzusatz geben. Der Deuteranope erforderte etwa die gleiche Menge Blau, doch weit weniger Rot. Der Protanope verwechselt also ein leicht bläuliches Rot mit einem dem normalen Auge viel dunkler erscheinenden Grün (Scharlachrot mit Olivgrün); der Deuteranop ein erheblich bläuliches Rot und ein Grün, die auf das normale Auge etwa den Eindruck gleicher Helligkeit machen. Das Rot, welches für den Protanopen bzw. Deuteranopen einem bestimmten Grün gleich aussieht, erscheint somit dem Normalen sowohl nach Farbton als Intensität ungemein verschieden. Damit sind zugleich die drei Hauptverwechslungsfarben der Dichromaten — Rosa, Blaugrün und Grau — gegeben.

Was nun das Verhalten der Dichromaten den gewöhnlichen Farben

der Gegenstände des täglichen Lebens, also den Pigmentfarben gegenüber anlangt, so sollte man nach dem Gesagten annehmen dürfen, sie müßten hier ebenfalls auf Schritt und Tritt Fehler begehen und sich ebenso unsicher wie den spektralen Lichtern gegenüber fühlen. Das ist aber keineswegs der Fall; im Gegenteil, sie machen bei der Unterscheidung der Pigmentfarben meist viel weniger Fehler, als man auf Grund ihres Verhaltens den Spektralfarben gegenüber von vornherein erwarten sollte. Das erklärt sich, wie wir bereits weiter oben bei dem total Farbenblinden (siehe S. 175) erörterten, aus einer Reihe von Umständen, welche sie befähigen, andere Merkmale, nämlich diejenigen der Helligkeits- und der Sättigungsunterschiede, des Glanzes, der Schattierungen usw. mit Erfolg zur Farbenunterscheidung zu verwerten. Vor allem ist aber wieder daran zu erinnern, daß die gefärbten Gegenstände niemals reine Strahlen, wie die Spektrallichter, sondern mehr oder weniger unreine Strahlengemische aussenden. Neben den roten Strahlen eines gesättigt rot aussehenden Gegenstandes z. B. fehlt es fast nie an den benachbarten gelbroten, gelben, ja grünen Strahlen, die je nach der Menge ihres Anteils an dem Strahlengemisch die jeweilige Gesichtsempfindung in der verschiedensten Weise mit beeinflussen. Die Unterscheidungsfähigkeit des Dichromaten für Pigmentfarben muß aber notwendigerweise ihre Grenzen finden, sobald es sich um die Unterscheidung von Farbtönen handelt, die in ihrem farbigen Aussehen und ihren Helligkeiten denen entsprechen, die wir im Spektrum als Verwechslungsfarben für die dichromatischen Systeme kennen lernten. Sendet ein Gegenstand in der Hauptsache z. B. rote Strahlen aus, so sieht der Protanop ihn entsprechend seiner Unempfindlichkeit für rote Strahlen viel dunkler als ein Normaler und ein Deuteranop, und ist das Rot so dunkel, daß seine Strahlen bei ihm überhaupt nicht einwirken, so sieht er ihn einfach schwarz. Daher erscheinen ihm tiefdunkle Farbtöne, z. B. dunkelrotes Tuch, vollkommen schwarz, und es muß gegebenenfalls zu Verwechslungen kommen, die bei einem Normalen und Deuteranopen nie eintreten können. Dem Deuteranopen andererseits werden rosarote Gegenstände z. B., deren Strahlen ein Gemisch von rotem und blauem Licht darstellen, nahezu unbunt, also grau erscheinen, wenn die beiden Empfindungen, die ihm sein Farbensystem nur zu vermitteln imstande ist, nämlich diejenige eines warmen, gelblichen und eines kalten, bläulichen Farb-

tones sich gegenseitig aufheben. Beim Protanopen aber kann es hier nicht zu derselben unbunten Empfindung kommen, weil seine Unterempfindlichkeit für die roten Strahlen bei ihm die blauen viel stärker hervortreten läßt und daher anstatt der Grauempfindung eine Blauempfindung hervorruft. Dafür erscheinen ihm wieder andere Farbtöne, z. B. die Übergänge zwischen Purpur und Scharlachrot unbunt, während sie für den Deuteranopen einen warmen, gelblichen Farbton haben. Besonders schwierig gestalten sich für den Dichromaten die Verhältnisse, wenn es gilt, die Farbe ihm bisher unbekannter Objekte für sich allein zu beurteilen, bei denen seine Fähigkeit, auf Grund des Vergleichs von Helligkeits- und Sättigkeitsunterschieden zweier oder mehrerer verschiedenfarbiger Lichter die richtige Farbe zu erschließen oder zu erraten, versagt, oder wenn die Farben wenig gesättigt und stark mit Weiß und Grau „verhüllt" sind, oder endlich, wenn kleine Objekte in großer Entfernung zu beurteilen sind, wie es z. B. bei der Erkennung der bunten Signallichter im Schiffs- und Eisenbahnverkehr so häufig notwendig wird. Rote, grüne und gelbe Signallaternen und Flaggen rufen in Wirklichkeit bei dem Dichromaten die gleiche Farbenempfindung hervor, wenn er sie auch auf Grund der Sättigungs- und Helligkeitsunterschiede bei hellem und klarem Wetter zu unterscheiden und richtig zu deuten gelernt hat. Bei Nebel und Rauch sowie bei herabgesetzter Beleuchtung versagen aber diese unsicheren Hilfsmittel nur zu leicht und können zu folgenschweren Verwechslungen Anlaß geben.

Was den Lichtsinn anlangt, so funktioniert er bei den dichromatischen Farbensinnstörungen im allgemeinen normal, d. h. es besteht keine Herabsetzung des Sehvermögens. Es kann aber auch, wie es bei der totalen Farbenblindheit fast regelmäßig der Fall ist, für Licht bestimmter Brechbarkeit, am meisten für Rot, zuweilen auch für Grün, eine herabgesetzte Empfindlichkeit bestehen, trotzdem das Spektrum keine anderen als die bereits erwähnten Verkürzungen und Abweichungen aufweist.

Man hat sich der Mühe unterzogen, eine ganze Reihe von Pigmentfarben auf ihre Verwechslungsmöglichkeiten bei Dichromaten hin zu untersuchen und die so gefundenen Farbtöne in Tabellen zusammengestellt. Danach können von Deuteranopen und Protanopen verwechselt werden z. B.:

1. ein helles Rot mit einem dunkeln Gelb oder Braun, Olivbraun, Grüngelb, Olivgrün, dunklem Kreß.
2. Kreß mit Feuerrot, Ziegelrot, Gelbgrün, Gelb.
3. Gelb mit Hellrot, hellem Kreß, Gelbgrün.
4. Gelbgrün mit Hellrot, Ziegelrot, Kreß, Gelb.
5. Grün mit Graugelb, Graubräunlich, Graurosa.
6. Bläulichgrün mit Grau bzw. Weiß und Rosa.
7. Rosa, Karminrot mit Grau, Bläulichgrün, Braungrün.
8. Grünlichblau mit weißlichem Blau (Wasserblau, Blaßveil).
9. Blau und Veil sehen gleich aus.
10. Rotveil (malvenfarben), Lösung von übermangansaurem Kali mit Blaßveil, Blaßblau.

Man übersieht allein schon aus dieser Zusammenstellung von Verwechslungsmöglichkeiten, wie anders geartet und von dem Normalen abweichend das Farbensehen der Dichromaten sich gestalten muß, und man wird nicht ohne Verwunderung hören, daß sie trotzdem in der Bezeichnung der von ihnen so verschieden empfundenen Farbentöne so verhältnismäßig selten Fehler begehen, sondern sich der Farbenbenennungen vielfach ebenso richtig und sicher bedienen wie der Normale. Das erklärt sich aber sofort, wenn wir uns der eigenartigen Verhältnisse erinnern, in denen die Farbenbenennung zu der Farbenempfindung steht und uns die ausschlaggebende Rolle vergegenwärtigen, welche die durch die Erfahrung des täglichen Lebens im Verkehr mit den Normalsichtigen gewonnene Kenntnis der Farbenbezeichnungen beim Dichromaten spielt. Das ist ja auch der Grund, warum man aus den — richtigen oder falschen — Farbenbezeichnungen allein niemals einen endgültigen Schluß auf das wirklich vorhandene Farbenerkennungs- und -unterscheidungsvermögen ziehen kann. Farbenbenennung und Farbenempfindung decken sich eben keineswegs immer. Erstere ist erlernt und den Empfindungen der Normalsichtigen angepaßt, sie kann daher auch unmöglich mit dem ganz anders gearteten Empfinden der Dichromaten übereinstimmen. Es ist deshalb auch für den Normalsichtigen so ungemein schwer, sich in die Farbenempfindungen der Farbenuntüchtigen, einerlei welchen Systems, hineinzuversetzen. Ein auf objektivem Vergleich beruhendes Urteil darüber wäre nur einem Individuum möglich, welches sowohl über ein farbentüchtiges, wie über ein farbenuntüchtiges Auge verfügt. Zwar kommen solche Fälle bei den erworbenen Farbensinnstörungen nicht selten vor,

aber ihr auf krankhaften und meist vorübergehenden Veränderungen beruhender Zustand kann in keiner Weise zu Rückschlüssen auf das Farbensehen bei den auf ganz anderen Grundlagen beruhenden und durchaus nicht als krankhaft anzusehenden angeborenen Farbensinnanomalien herangezogen werden. Immerhin sind in letzter Zeit einige übrigens ganz vereinzelte Fälle von einseitigen angeborenen Farbensinnstörungen beobachtet und wissenschaftlich im angedeuteten Sinne verwertet worden, aber eine endgültige Beantwortung der Frage nach der Art des Farbensehens der Farbenuntüchtigen kann erst dann erwartet werden, wenn eine genügend große Anzahl derartiger Fälle, die sämtliche von der Regel abweichenden Systeme umfassen müssen, wissenschaftlich analysiert sind (s. S. 209).

Es ist hiernach ohne weiteres verständlich, daß man allein mit der Frage nach der Benennung bunter Lichter oder Pigmente niemals zum Ziele kommen kann, wenn es gilt, bei einem Individuum festzustellen, ob sein Farbensinn in normaler Weise funktioniert oder nicht. Es muß vielmehr darauf ankommen, zu ermitteln, ob bestimmte objektiv verschiedene Farbtöne miteinander verwechselt werden oder nicht, wobei die Benennungen ganz aus dem Spiele zu bleiben haben. So beruhen denn auch, wie wir noch zu erörtern haben werden, unsere heutigen Methoden zur Untersuchung des Farbensinns und zur Feststellung der Farbentüchtigkeit bzw. -untüchtigkeit auf dem Prinzip der Vergleichung verschiedener Farbtöne, wodurch allein das Farbenunterscheidungsvermögen, auf das es ankommt, einwandfrei beurteilt werden kann.

So wichtig nun die Unterscheidung der beiden Systemgruppen der Protanopen und Deuteranopen in wissenschaftlicher Hinsicht ist, ein so geringes Interesse beansprucht sie für die Bedürfnisse des praktischen Lebens, da ihr Farbensinn gleich minderwertig ist. Man verzichtet deshalb auf die ohnehin nicht leichte Auseinanderhaltung der verschiedenen dichromatischen Typen, zumal sie nur mit umständlichen und eine besondere Sachkenntnis voraussetzenden Spektralapparaten zu erreichen ist, und begnügt sich, festzustellen, ob Dichromasie vorliegt oder nicht, wenn es überhaupt darauf ankommt, mehr als ganz allgemein zu beurteilen, ob ein normaler Farbensinn vorhanden ist oder nicht.

Die Tritanopie. (Blaugelbblindheit, Blaugelbverwechslung, Blau- bzw. Veilblindheit.) Wie die Protanopen und Deuteranopen sehen auch die Tritanopen, soweit über ihre angeboren nur höchst selten vorkommende Farbensinnstörung wissenschaftlich Näheres bekannt ist, das unzerlegte weiße Licht nicht anders als die Normalen, und diesem Weiß gleich erscheint ihnen im Spektrum ein Grüngelb von etwa 570, dessen Stelle den neutralen Punkt des tritanopischen Systems darstellt. Das Spektrum ist bei den Blaugelbverwechslern am kurzwelligen blauen Ende ziemlich stark verkürzt und weist im allgemeinen nur die Farben Rot und Grün auf, die nach der neutralen, dazwischen gelegenen Stelle hin allmählich in Farblosigkeit übergehen. Die Lichter des langwelligen Spektralteiles werden im allgemeinen meist als Rot, die des kurzwelligen als Grün (oder auch als Blau) bezeichnet; Gelb wird als Weiß oder Grau gesehen. Das Farbensystem der Tritanopen besteht also nur aus Rot und Grün und bildet daher die genaue Kehrseite der Rot-Grünverwechslung. Dementsprechend vermögen die Tritanopen auch unter den Pigmentfarben des gewöhnlichen Lebens die roten und grünen Farbtöne im allgemeinen ebensogut zu erkennen und zu unterscheiden wie die Normalen und sind hierin bei der Bedeutung, die gerade diesen im gewöhnlichen Leben so häufigen Farben zukommt, den Rot-Grünverwechslern voraus. Schwierigkeiten ergeben sich aber für sie, wenn diese Farbtöne genügende Mengen Blau und Gelb enthalten. Infolgedessen werden Blaurot und Gelbrot miteinander verwechselt. Auch verwechseln sie zwar nicht Rot mit Grün, wohl aber unter Umständen beide mit Grau, das Grün vornehmlich dann, wenn ihm Gelb beigemischt ist; ferner Blaugrün mit Blau, Gelblichgrün mit Blauveil, Gelbrot mit Purpurrot, Grünlichgelb und Veilrosa untereinander mit Grau, also in der Hauptsache blaue Farbtöne mit gelben und grauen. Eine ganze Anzahl von Farbtönen erscheinen verschiedenen Tritanopen verschieden, je nachdem ihre Sehschärfe für homogenes Blau normal oder herabgesetzt ist, was nicht selten der Fall ist. So sieht ein Tritanop mit normalem Sehvermögen ein bestimmtes Blau grünlich, während es dem mit herabgesetztem grau erscheint.

In gewisser Hinsicht kann man das Sehen älterer Personen jenseits der sechziger Jahre mit der Tritanopie vergleichen. Mit zunehmendem Alter nimmt die menschliche Linse auch im normalen Auge eine leichte

und mit den Jahren mehr oder weniger stark weiter zunehmende gelbliche Färbung an. In höheren Lebensjahren ist diese Färbung nicht selten sehr ausgesprochen, so daß die Linse dann dunkelbraungelb erscheinen kann. Ihre Durchsichtigkeit kann dabei völlig erhalten bleiben. Es wird dadurch naturgemäß eine gewisse Veränderung des Farbensehens herbeigeführt, die sich dem Zustand der Blau-Gelbverwechslung nähern kann. Die durch die Gelbfärbung verursachte Farbensinnstörung wird dem betreffenden Individuum natürlich nur dann zum Bewußtsein kommen können, wenn beide Augen nicht gleichmäßig oder gleichmäßig schnell von dieser Veränderung betroffen werden, was im allgemeinen aber nicht der Fall ist. Sie äußert sich hauptsächlich darin, daß dem Greise die Umwelt im großen und ganzen in einem wärmeren, gelblichen Farbton erscheint und daß Farben, die ein jugendliches Auge schön blau sieht, von Augen mit derartigen gelben Linsen mehr blaugrau oder rein grau gesehen werden, wodurch natürlich unter Umständen gewisse Farbenverwechslungen zustande kommen können, denen jugendlichere Augen nicht unterliegen.

Dreizehntes Kapitel.

Die anomalen trichromatischen Systemgruppen — Die Farbensinnschwäche.

Die Mittelstellung der anomalen Trichromasie auf Grund ihres Verhaltens den spektralen Mischungsgleichungen gegenüber. Wir haben im Verlauf unserer bisherigen Ausführungen kennengelernt: Das trichromatische Farbensystem, wie es in den Hellgleichungen bei der überwiegenden Mehrzahl der normal-farbensichtigen Menschen zum Ausdruck kommt; ferner die drei typisch verschiedenen, aus dem ersteren als Reduktionsformen abzuleitenden dichromatischen Systeme der partiell farbenblinden Protanopen, Deuteranopen und Tritanopen, durch die Hellgleichungen der einen und der anderen Art der Rot-Grün- und Blau-Gelbverwechsler dargestellt; wir haben — daneben und ohne in einer näheren Beziehung zu jenen stehend — das mono- oder achromatische System der angeborenen totalen Farbenblindheit beschrieben, das identisch ist mit demjenigen, welches auch Tri- und Dichromaten beim Dämmerungssehen zeigen. Damit sind aber noch nicht alle Möglichkeiten der angeborenen Farbensinnstörungen erschöpft, sondern es bleibt noch eine Systemgruppe von Farbensinnstörungen zu erörtern, bei denen sich auf Grund des Verhaltens ihrer Vertreter bei Untersuchungen mit spektralen Lichtern weder ein mono- noch ein dichromatisches System nachweisen läßt, sondern denen trotz ihrer Abweichungen vom normalen Farbensehen ein trichromatisches Farbensystem zugrunde liegt. Zwar muß man, wie wir sahen, um farbentüchtig im wissenschaftlichen und praktischen Sinne zu sein, über ein trichromatisches Farbensystem verfügen, das ja allein dem Farbensehen aller farbentüchtigen Individuen zugrunde liegt, und muß, kurz gesagt, Trichromat sein, es darf aber hieraus keineswegs der umgekehrte Schluß gezogen werden, daß alle mit einem trichromatischen System Begabten auch stets farbentüchtig sein müssen. Diese Umstände lassen den Schluß zu, daß diese Art der farbenuntüchtigen Trichromaten eine

Mittelstellung zwischen den farbentüchtigen Trichromaten einerseits und den farbenuntüchtigen Dichromaten andererseits einnimmt. Tatsächlich verhält es sich so, und während von Übergangsformen zwischen den total farbenblinden Monochromaten und den Dichromaten nichts bekannt ist, weisen die farbenuntüchtigen Vertreter dieser Kategorie alle Übergänge und Zwischenstufen von der ausgesprochenen Dichromasie bis zum vollwertigen Farbensinne auf und zeigen als solche den Weg der fortschreitenden Erweiterung des dichromatischen zu dem trichromatischen System des Normalen an. Diese Erweiterung besteht darin, daß es bei den mit diesem Zwischensystem Begabten unter keinen Umständen gelingt, durch eine Mischung aus nur zwei spektralen Lichtern, wie z. B. Rot und Blau, alle überhaupt möglichen Farbenempfindungen, z. B. Grün oder Gelb, hervorzurufen. Dazu bedarf es vielmehr auch bei ihnen noch eines dritten, und zwar wie beim Normalen, der Mitte des Spektrums entnommenen bunten Lichtes. Es darf nun aber aus dieser trichromatischen, der normalen ähnlichen Gliederung des Farbensehens nicht geschlossen werden, ihr Farbensinn sei allgemein nur als eine gering einzuschätzende Herabsetzung des normalen Farbensehens anzusehen und im großen und ganzen dem der Farbentüchtigen als ziemlich gleichwertig an die Seite zu stellen. Allerdings befinden sich unter ihren Vertretern solche, die den normalen Trichromaten überaus nahestehen und bei denen man zweifelhaft sein kann, ob man sie diesen oder jenen zuweisen soll, was ja ihrer Stellung als Zwischen- und Übergangsform durchaus entspricht, aber bei der großen Mehrzahl weicht ihr Farbensinn von dem der Normalen in ganz charakteristischer Weise ab und erweist sich, wie wir noch sehen werden, in praktischer Hinsicht als fast ebenso minderwertig als derjenige der Dichromaten. Diesen Abweichungen vom normalen Farbensehen liegt ein Farbensystem zugrunde, bei dem an Stelle des gänzlichen Ausfalles nur eine von der Regel abweichende mangelhafte Ausbildung einer der drei Komponenten vorliegt. Ebenso wie der Ausfall beim dichromatischen System beschränkt sich diese Verkümmerung auf die linke Spektralhälfte und führt dadurch zu einer Veränderung der Reizwerte des ganzen langwelligen Spektralteiles.

Begriffsbestimmungen. Auf Grund dieses ihres Verhaltens spektralen Lichtern gegenüber hat man solche Farbenuntüchtige zum

Unterschiede von den normalen Trichromaten und Dichromaten als „anomale Trichromaten" oder auch schlechthin „Anomale" und den Zustand ihres regelwidrigen Dreifarbensehens als „anomale Trichromasie" bezeichnet und dadurch ihr Doppelverhältnis sowie ihre Zwischenstellung zwischen den beiden anderen Systemgruppen zum Ausdruck gebracht. Unter ähnlichen Gesichtspunkten bezeichnet man sie im Hinblick auf ihr Verhalten den Körperfarben des gewöhnlichen Lebens gegenüber als „Farbenschwache" und nennt ihren Zustand „Farbensinnschwäche", wodurch ebenfalls die erwähnte Mittel- und Sonderstellung angedeutet wird. Genau genommen, sind übrigens diese beiden Begriffe einander nicht völlig identisch. Man kann nämlich einerseits „anomaler Trichromat" sein, ohne einen „schwachen Farbensinn" mit all den ihn charakterisierenden „besonderen Merkmalen" (siehe weiter unten) aufzuweisen, andererseits einen „schwachen Farbensinn" besitzen, ohne doch „anomaler Trichromat" zu sein. Dieser scheinbare Widerspruch ist so zu verstehen, daß der Begriff der anomalen Trichromasie sich hauptsächlich auf das vom Normalen abweichende Verhalten den spektralen Mischungsgleichungen gegenüber bezieht, während dem Begriff der Farbensinnschwäche in erster Linie eine mittels anderer Methoden aufgedeckte Herabsetzung des Farbensinns in bezug auf das Verhalten den gewöhnlichen Pigmentfarben gegenüber zugrunde liegt. In der weitaus größten Mehrzahl der Fälle erweisen sich die anomalen Trichromaten natürlich auch diesen gegenüber als farbenschwach, und die eben erwähnte Gegensätzlichkeit liegt nur in den seltenen Fällen vor, wo ein Individuum trotz fehlerhafter Einstellung der Mischungsgleichungen bei spektraler Prüfung den Pigmentfarben gegenüber kein vom Normalen abweichendes Verhalten, also keine Zeichen von Farbensinnschwäche zu erkennen gibt oder wo trotz regelrechter Einstellung der Mischungsgleichungen doch ein regelwidriges Verhalten Pigmentfarben gegenüber, d. h. Farbensinnschwäche, nachweisbar ist. Es geht daraus hervor, daß die Abgrenzungen der beiden Begriffe durchaus nicht leicht und gelegentlich sogar nur mit einer gewissen Willkür zu ziehen sind, indem sie je nach dem subjektiven Standpunkt und nach der Betonung des jeweiligen Verhaltens gegenüber den spektralen Mischungsgleichungen oder den Körperfarben von dem einen oder anderen Beurteiler leicht verschieden gedeutet werden.

Wir müssen diese Unzulänglichkeit solange mit in Kauf nehmen, als es uns noch an vollkommeneren Untersuchungsmethoden fehlt, die nicht nur den wissenschaftlichen, sondern vor allem auch den praktischen Ansprüchen entsprechen, um eine auch noch so leichte Farbensinnstörung gegenüber dem normalen Farbensinn abzugrenzen. Vorläufig sind wir bei Individuen, die nur eine ganz leichte Erhöhung der Farbenunterscheidungsschwelle für einige Teile des Spektrums aufweisen, sich den Körperfarben gegenüber aber wie die Normalen verhalten, bei denen also trotz geringer Sättigung die Farben immer noch richtig erkannt werden, kaum berechtigt, hier schon allgemein von einer „Schwäche" des Farbensinns zu reden, sondern können solche Individuen immer noch den Normalen gleichstellen. Es ist dabei als wesentlich zu beachten, daß sich das Sehorgan biologisch durchaus an Lichtgemischen entwickelt hat, wie sie die Körperfarben darbieten, und daß die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Sehorgans sich auf sein Verhalten diesen gegenüber in erster Linie zu gründen hat. Demgegenüber sehen wir zwar mit Recht in den Mischungsgleichungen mit spektralen Lichtern die zuverlässigste Grundlage für die Kenntnis des normalen Farbensinns und den besten Ausgangspunkt für die Erkenntnis und Erklärung seiner Störungen, aber es darf dabei nicht außer acht gelassen werden, daß diese Untersuchungen mittels spektraler Lichter sich auf Verhältnisse beziehen, die für das Verhalten des Sehorgans den Körperfarben gegenüber eigentlich nicht maßgebend sind und jedenfalls nicht ohne weiteres mit ihnen identifiziert werden können.

Einteilung der Anomalen auf Grund der spektralen Lichtmischungsverhältnisse. Die Prüfung der spektralen Lichtmischungsverhältnisse ergibt für das anomal trichromatische System ganz ähnliche Gesetzmäßigkeiten wie für die protanopischen und deuteranopischen Systemgruppen, und zwar insofern, als die Abweichungen, wie man sie in den Eichwertkurven bildlich zum Ausdruck bringt, sich auch hier stets nur auf e i n e Kurve beziehen, während die beiden anderen mit dem normalen System übereinstimmend bleiben. Diese Veränderungen betreffen nur entweder die Rot- oder die Grünkurve, die Veilkurve aber bleibt stets unverändert. Hieraus ergibt sich also, wie bei den Dichromaten, eine deutliche Zweiteilung des Systems, indem entweder

die Rot- und Veilkurve keine oder nur belanglose Abweichungen zeigt, wohl aber die Grünkurve, oder aber die Grün- und die Veilkurve unverändert bleibt und die Rotkurve von der normalen deutlich abweicht. Vergleicht man nun die drei Kurven der anomalen Trichromaten mit denjenigen der normalen Trichromaten und denen der Dichromaten, so ergibt sich, daß entweder die Rot- der Grünkurve oder die Grün- der Rotkurve nähergerückt und außerdem etwas erniedrigt ist; beide sind demnach gegeneinander verschoben und infolgedessen einander angenähert. Ist die Rotkurve nach rechts, also nach der brechbareren Seite des Spektrums zu verschoben, so liegen die Verhältnisse ähnlich wie beim Protanopen, das Spektrum ist links verkürzt wie bei diesem, und der „Protanomale", wie wir ihn zur Kennzeichnung der Analogie zum Protanopen nennen, ist für langwelliges Licht relativ unterempfindlich, so daß für das Zweilichtergemisch am Spektralapparat von Rot und Grün zu Gelb eine Vermehrung des Rotanteils notwendig wird, die je nach der Wellenlänge des Vergleichslichtes das 4- bis 5 fache des Normalen beträgt. Dabei sind aber die den Kurven entsprechenden Mischungsgleichungen sowohl abweichend vom Verhalten der Dichromaten, als auch von dem der normalen Trichromaten. Aus den Mischungsverhältnissen lassen sich naturgemäß Schlüsse ziehen auf die Qualität des Farbensehens des anomalen Trichromaten und auf den besonderen Charakter seiner Farbensinnstörung. Sie ist bei dem Protanomalen der Protanopie ähnlich, ohne zur gleichen Höhe dieser entwickelt zu sein, und steht dergestalt in der Mitte zwischen normalem und protanopischem System.

Bei der um ein Mehrfaches häufigeren zweiten Form der anomalen Trichromasie findet man ganz ähnliche Beziehungen zur Deuteranopie; die Grünkurve ist erniedrigt und beträchtlich nach dem langwelligen Ende hin verschoben, es besteht demnach eine starke Unterempfindlichkeit für grünes Licht, welche für das Zweifarbengemisch eine entsprechende Vermehrung des Grünanteils erfordert. Überhaupt sind die Veränderungen — Verschiebung und Erniedrigung — der Grünkurve viel deutlicher ausgesprochen als bei der Rotkurve. Die Grenzen der einzelnen Spektralstrecken ergeben aber sonst keine Verschiedenheiten von denjenigen des normalen Systems. Natürlich werden die von beiden Gruppen hergestellten Farbengleichungen gegenseitig nicht

anerkannt. Man bezeichnet die Vertreter dieses Typus in Rücksicht auf die die zweite (Grün-)Kurve betreffende Abweichung in Analogie zu den Deuteranopen folgerichtig als Deuteranomale. Will man diese Anomalien lieber sprachlich mit dem veränderten Farbensehen selbst in Beziehung setzen, so ergeben sich die Ausdrücke „rotanomal" für „protanomal" und „grünanomal" für „deuteranomal" von selbst, wodurch die jeweilige Unterempfindlichkeit den betreffenden Lichtern gegenüber ausreichend gekennzeichnet wird. In ganz analoger Weise kann man schließlich, vorläufig allerdings nur erst theoretisch, zwischen das normale und das tritanopische System ein „tritanomales" oder „veilanomales" System einschieben, das freilich bisher, angeboren, noch nicht beobachtet worden ist. Immerhin ist es nicht unwahrscheinlich, daß, ebenso wie es drei Arten von Dichromasie gibt, auch noch die dritte Art der anomalen Trichromasie aufgefunden wird.

Verhalten der Anomalen den Körperfarben gegenüber. Wie gesagt, entspricht all diesen vom Normalen abweichenden spektralen Lichtmischungsverhältnissen auch ein verändertes Farbensehen und ein herabgesetztes Unterscheidungsvermögen in bezug auf Pigmentfarben, das sich trotz Vorhandenseins aller drei Komponenten in ganz charakteristischer Weise als von demjenigen der Normalen verschieden erweist. Auch der anomale Trichromat hält eine Reihe von bunten Eindrücken für gleichartig, die dem Farbentüchtigen verschiedenbunt erscheinen, und eine andere Reihe für verschiedenbunt, die dem Farbentüchtigen gleichbunt und nur in den Helligkeiten verschieden erscheinen. Der Farbenschwache unterliegt also ebenfalls dem doppelten Irrtum der Verwechslung sowohl verschiedener Farben, die von ihm für einfarbig, als auch verschiedener Helligkeiten derselben Farbe, die von ihm für verschiedenfarbig gehalten werden. Natürlich sind diese Verwechslungen, die sich noch insofern kombinieren können, als auch verschiedene Helligkeiten verschiedener Farben für einfarbig gehalten werden, bei dem anomalen Trichromaten dem Dichromaten gegenüber ziemlich eingeengt, da ihnen ja nicht, wie jenen, die rote oder grüne Komponente vollständig mangelt, das Reizempfindungsvermögen für rote oder grüne Lichter daher nicht aufgehoben, sondern nur herabgesetzt oder abgestumpft ist, so daß seine Unter-

scheidungsmöglichkeiten zahlreicher sind und sich schließlich denen des Normalen nähern können.

Die hauptsächlichste Abweichung im Farbensehen der Anomalen äußert sich in einer Beeinträchtigung der Grünempfindung, die so stark sein kann, daß das Grün sich für sie je nach seiner Helligkeit und Intensität so wenig von grauen und braunen Tönen unterscheidet, daß sie die Bezeichnung Grün nur zögernd und gewissermaßen instinktiv anwenden. Sie wissen, daß diese für sie so wenig ausgesprochene Empfindung meist von Farbtönen herrührt, die der Normale als Grün bezeichnet. Dahingegen ist die Rotempfindung, zumal bei den Deuteranomalen, vielfach ziemlich kräftig. Bei den Protanomalen, die an Häufigkeit den Deuteranomalen erheblich nachstehen, ist dagegen vorzugsweise die Rotempfindung, daneben allerdings auch die Grünempfindung beeinträchtigt. Sinngemäß nennt man daher diese, die Protanomalen (Rotanomalen), auch „rotschwach" und jene, die Deuteranomalen (Grünanomalen), auch „grünschwach", und spricht demgemäß von „Rot"- und von „Grünschwäche". Immerhin äußert sich praktisch die Farbenschwäche der Rotanomalen vornehmlich ebenfalls in der Verwechslung von Grün und Grau, woraus hervorgeht, daß auch bei ihnen die Grünempfindung merklich herabgesetzt ist.

Die sogenannten „Sekundären Merkmale" der Anomalen. Außer dieser herabgesetzten Unterschiedsempfindlichkeit für Farbtöne, die sich in einer Abstumpfung bzw. Schwäche des Rotsinnes oder Grünsinnes äußert, weist das Farbensehen der Anomalen noch eine Reihe von besonderen charakteristischen Eigentümlichkeiten auf, die ihre anscheinend günstigere und dem normalen Verhalten mehr angenäherte Stellung nach mehr als einer Richtung hin beeinflussen und ihre Sonderstellung den anderen Systemen gegenüber besonders deutlich zum Ausdruck bringen. Man bezeichnet diese Eigentümlichkeiten, die als ein in sich geschlossener Symptomenkomplex das Wesen der Farbensinnschwäche ausmachen und bei den Dichromaten gar nicht, bei den normalen Trichromaten, wenn überhaupt, nur andeutungsweise vorhanden sind, als „sekundäre Merkmale" der Anomalen. Sie bestehen im Vergleich zum Normalen:

1. In einer größeren Abhängigkeit von der Stärke der Farbeneindrücke;
2. in einer größeren Abhängigkeit von Helligkeitsunterschieden;

3. in einer größeren Abhängigkeit von der scheinbaren Größe der gesehenen Objekte;
4. in einer verlängerten Erkennungszeit für bunte Eindrücke;
5. in einer größeren Erdmüdbarkeit des Farbensinns, und
6. in einem verstärkten Auftreten des Farbenkontrastes.

Wenn man bedenkt, daß und wie diese verschiedenen Erscheinungen sich gegenseitig beeinflussen können, indem sie sich verstärken oder — ganz oder teilweise — aufheben, so wird dadurch die Mannigfaltigkeit ihres Einflusses auf das Farbensehen nicht weniger klar als die Schwierigkeit ihrer Erkennung und Beurteilung. Ihr Zusammenwirken auf das Verhalten den Körperfarben gegenüber gibt eine verständliche Erklärung für die auffallend geringe Einheitlichkeit im Farbensehen der Anomalen, das alle Spielarten und Übergangsformen von den geringstgradigen Abweichungen vom normalen Farbensehen bis zu den stärksten, den Dichromaten nahestehenden Graden der extrem Anomalen in lückenloser Reihe aufweist. Da sie aber trotzdem keineswegs so grobe Fehler und Verwechslungen wie die Dichromaten zu begehen brauchen, so sind sich gerade die Anomalen vielfach ihrer Farbensinnstörung durchaus nicht bewußt oder bemerken sie erst, wenn irgendein Zufall oder eine Prüfung des Farbensinns sie ihrer Abnormität überführt. Gelegentlich beurteilen sie wohl eine Farbe falsch oder ungenau oder bemerken die Abweichung ihres Urteils von demjenigen ihrer Umgebung, aber sie verbessern sich dann meist und führen die Unstimmigkeit auf Einflüsse der wechselnden Beleuchtung, der Helligkeit, des Glanzes oder auf augenblickliche Unaufmerksamkeit und Zerstreutheit zurück. Den intelligenten und aufmerksamen oder durch häufige Betätigung mit Farben darauf angewiesenen Beobachtern entgehen aber gerade die als „sekundäre Merkmale" bezeichneten Eigentümlichkeiten ihres Farbensehens auf die Dauer doch nicht und sie empfinden die ihnen aus ihrer Minderwertigkeit erwachsenden Unzuträglichkeiten mit der Zeit immer störender, bis sie sich mit ihnen abgefunden haben oder bis sie gelernt zu haben glauben, sie auf die eine oder andere Weise zu überwinden.

Erhöhung der Farbenreizschwelle und Einfluß der Lichtstärke. Die Unterempfindlichkeit der Anomalen für schwache bunte Lichtreize drückt sich in einer Erhöhung ihrer Farbenreizschwelle im Vergleich

zum Normalen aus, der schwache Lichtreize in bezug auf ihren bunten Charakter noch unterscheidet, wenn sie beim Anomalen schon unter die Schwelle der Erkenn- und Unterscheidbarkeit gesunken sind. Daher werden matte und wenig gesättigte Farbtöne, zumal von gleicher Helligkeit, von den Anomalen meist nicht erkannt, sondern miteinander verwechselt. Im Gegensatz dazu ist ihre Empfindlichkeit für die verschiedene Stärke von Lichtreizen ein und derselben Farbenqualität, mit anderen Worten, für Helligkeitsunterschiede keineswegs herabgesetzt, sie schenken ihnen vielmehr unbewußt eine bedeutend größere Aufmerksamkeit und verwenden sie, wenn auch nicht, wie der Dichromat, ausschließlich, so doch mit in erster Linie zur Beurteilung bunter Unterschiede, auch da, wo in der Tat keine vorhanden sind. Es ist indes nicht außer acht zu lassen, daß diese Unterscheidungsart nur eine Funktion der verstärkten Aufmerksamkeit und Übung, aber keine absolut gesteigerte Empfindlichkeit für Helligkeits- und Sättigungsunterschiede ist. Sie nehmen Helligkeitsunterschiede gleichzeitig für Farbenunterschiede (und umgekehrt) und unterliegen den dadurch bedingten Verwechslungen. Beim Farbentüchtigen liegen die Verhältnisse beinahe umgekehrt; diesen beherrschen die Farbenunterschiede, die bei jenem zurücktreten oder, wenn es sich z. B. um grünliche Farbtöne handelt, ganz fortfallen, und die Helligkeitsunterschiede werden den vorherrschenden Farbenunterschieden gegenüber vernachlässigt. Es wiederholt sich hier der Vorgang, den wir schon bei den Dichromaten kennen lernten, die ebenfalls die Mangelhaftigkeit ihrer Farbenempfindung durch stärkere Beachtung der Helligkeits- und Intensitätsunterschiede auszugleichen und zu ersetzen verstanden. Hat der Anomale die Schwelle seiner Farbenempfindlichkeit, die allerdings meist erheblich niedriger als beim Dichromaten ist, erreicht, so zieht er für die weitere Beurteilung von Farbenunterschieden die ihm allein verbliebene Empfindlichkeit für Helligkeits- und Sättigungsunterschiede heran, die ihn im Verein mit der durch Übung und Gewöhnung gewonnenen Erfahrung in der Tat sehr oft befähigen, die vorhandenen Farbenunterschiede nicht nur richtig zu erraten, sondern ihnen auch den entsprechenden sprachlichen Ausdruck zu verleihen. Diese Fähigkeit läßt ihn unter Umständen sogar dem Normalen überlegen erscheinen. Er läuft aber ebenso leicht Gefahr, einerseits Farbenunterschiede zu vermuten, wo tatsächlich nur solche der Helligkeit und

Sättigung vorliegen, anderseits solche da abzuleugnen, wo sie doch vorhanden sind, infolge der gleichen Helligkeiten ihm allerdings verborgen bleiben.

Einfluß der Größe der bunten Objekte und der Dauer ihrer Sichtbarkeit. Hand in Hand mit dieser stärkeren Abhängigkeit von der Lichtstärke und den Helligkeitsunterschieden geht eine weitere größere Abhängigkeit von der Größe der bunten Gegenstände und der Dauer der Beobachtungszeit. Je längere Zeit der bunte Gegenstand betrachtet werden kann und je größer er ist, um so eher wird sein Farbton von den Anomalen richtig erkannt. Deshalb sind sie bestrebt, kleine bunte Gegenstände möglichst nahe an das Auge zu bringen und sie lange zu betrachten, um den Gesichtswinkel zu vergrößern und die Beobachtungszeit zu verlängern. Je größer aber die Entfernung, mit anderen Worten, je kleiner die bunte Fläche und je kürzer die Zeitdauer der Wahrnehmung, um so unsicherer das Urteil über das bunte Aussehen, bis schließlich überhaupt keine Farben-, sondern nur noch Helligkeitseindrücke zustande kommen. So braucht der Farbenschwache für Rot etwa das 20fache, für Grün gar das 50fache der Zeit, welche der Normale zur Erkennung nötig hat. Bei kurzem Aufleuchten werden daher rote und vor allem grüne Lichter überhaupt nicht mit Sicherheit erkannt, sondern nur als hell empfunden. Auch vom Normalen werden manche Lichter schneller, andere langsamer erkannt, was mit der Leuchtkraft der verschiedenen Lichter zusammenhängt, aber die Unterschiede sind außerordentlich gering, und es handelt sich nur um tausendstel Sekunden. Aber auch mit der längeren Beobachtungsdauer hat es seine Bedenken, denn dann macht sich die auffällige Erscheinung geltend, daß die Anomalen bunten Eindrücken gegenüber schnell ermüden. Mit der Länge der Beobachtungszeit sinkt daher ihr Farbenunterscheidungsvermögen. Ist die Farbe endlich, möglicherweise richtig, erkannt, so tritt alsbald wieder Unsicherheit über ihre bunte Qualität ein, und indem ein eben gegebenes Urteil einige Sekunden später widerrufen und abgeändert wird, beginnen die Verwechslungen von neuem.

Einfluß des Farbenkontrastes. Neben den genannten Erscheinungen macht sich als weiteres chrakteristisches Merkmal bei dem Anomalen

ein verstärktes Auftreten des Farbenkontrastes geltend. Diese Eigentümlichkeit äußert sich sowohl beim örtlichen Nebeneinander-, als auch beim zeitlichen Hintereinanderauftreten von Farbeneindrücken. Kontrasterscheinungen und Kontrastwirkungen lernten wir bereits beim Normalen in begrenztem Umfange kennen und sahen, daß sie hier gelegentlich auch zu gewissen Täuschungen über den wahren Charakter der Farbe führen können. Sie treten aber bei den Anomalen regelmäßig derartig gesteigert und verstärkt auf, daß ihr Farbensehen dadurch in einer ganz besonders charakteristischen Weise beeinflußt wird. Dabei äußern sich die kontrastlichen Wirkungen nur im Bereich der roten und grünen Farben oder, mit anderen Worten, wenn Rot oder Grün die kontrasterregenden Farben sind, nicht aber Blau und Veil.

Sieht der Anomale z. B. neben einem deutlich roten Lichte ein weißes, gelbes, ja selbst ein gelbrotes, so hält er dieses infolge der gesteigerten Kontrastwirkung für grün, während ihm die genannten Lichter, hintereinander und isoliert gezeigt, in ihrer richtigen Farbe erscheinen würden. Ähnliches gilt, wenn die Lichter neben einem grünen auftreten, wodurch sie den Anomalen als rot erscheinen können. Umgekehrt ändern Lichter in dem Augenblick ihren Farbton für den Anomalen, sobald das kontrasterregende Licht wegfällt. Es verliert also ein dem Anomalen neben einem roten Licht grün erscheinendes helles Licht sofort diesen durch den Kontrast hervorgerufenen grünen Charakter und wird unbunt gesehen, wenn das rote, kontrasterregende Licht verschwindet. Von zwei verschiedenen Rot kann dem Rotschwachen das dunklere, isoliert unbunt erscheinende Rot neben dem helleren und ihm deutlicheren Rot infolge der Kontrastwirkung grün erscheinen. Was für das örtliche Nebeneinander-, gilt auch für das zeitliche Hintereinanderauftreten, wenn derartige Lichter schnell genug hintereinander zum Erscheinen gebracht werden. Ferner können sonst unterempfindlich gebliebene Lichtarten unter der Einwirkung der Kontrastfarbe nicht nur bis zur normalen Empfindlichkeit, sondern noch darüber hinaus gesteigert werden. Dies macht sich besonders bei der Grünempfindung der Anomalen geltend, die, isoliert bei ihnen kaum zustandekommend, in Gegenwart des kontrasterregenden Rot sofort in überraschend kräftiger Weise in die Erscheinung tritt. Wenn man aber bedenkt, daß diejenigen spektralen Lichter, die für den normalen

Farbensinn die Grünempfindung auslösen, auf den Farbensinn der Anomalen isoliert nicht spezifisch einwirken, sondern erst durch Kontrast vom Rot eine Empfindungsart hervorrufen, die weder dem Gelb, Kreß, Weiß, Grau, noch einer sonstigen ihm bekannten Empfindung entspricht, so kann man zu der Annahme kommen, daß es sich bei dieser Empfindung, wenn sie auch als „grün" bezeichnet wird, nicht um eine der normalen Grünempfindung entsprechende, sondern um eine solche handelt, die dem Normalen ebenso unbekannt ist, wie die normale Grünempfindung dem Anomalen. Es kann auf diese Weise zu Farbenempfindungen kommen, die jenen des Normalen ähneln, sie an Feinheit sogar übertreffen können. In dieser Hinsicht stellen die gesteigerten Kontrasterscheinungen der Anomalen nicht wie die übrigen Merkmale eine Minderwertigkeit des Farbensinns dar, sondern vielmehr unter Umständen eine Verbesserung und Erhöhung desselben. Die Kontraststeigerung hebt bei ihnen Farben, die unterschwellig sind, unter dem Einfluß einer überschwelligen Farbe über die Schwelle der Empfindung; und mehr noch, zwei für den Anomalen, isoliert betrachtet, wegen zu geringer Sättigung unterschwellige Farben treten bei gleichzeitiger Betrachtung nebeneinander durch den gegenseitigen Kontrast über die Schwelle und werden bunt, vielleicht sogar bunt richtig empfunden. Es geht daraus hervor, daß die Anomalen vom künstlerisch-ästhetischen Standpunkte aus keineswegs immer als farbenschwach oder farbenuntüchtig, wie von physiologischen Gesichtspunkten aus, aufzufassen sind. Im Gegenteil kann gerade diese ihre physiologische Unterwertigkeit ihnen künstlerisch sehr zustatten kommen und sogar eine gewisse Überlegenheit bedingen; in der Tat verdanken wir einer Reihe nachweislich „anomaler" Maler künstlerisch besonders hochstehende und geschätzte Erzeugnisse, und sie gelten mit Recht als ganz besonders feine Farbenkünstler. Trotz dieser ihrer sich doch nur gelegentlich geltend machenden Überlegenheit müssen solche Anomale aber in praktischer wie in wissenschaftlicher Hinsicht dennoch als minderwertig und somit als farbenuntüchtig gelten, da sie in der großen Minderheit bleiben gegenüber den Normalsichtigen, deren Leistungen in bezug auf Farbensehen für die Bewertung des Begriffs der Farbentüchtigkeit ausschlaggebend bleiben müssen, wofern nicht eine heillose Verwirrung für diese Qualifizierung eintreten soll.

Andererseits führt aber der Kontrast sofort wieder zu falschen

Empfindungen, wenn nur eine der Farben eben merklich, die andere aber deutlich empfunden wird, denn dann schießt die von der letzteren hervorgerufene Kontrastwirkung in bezug auf die erstere über das Ziel hinaus und läßt einen z. B. neben Rot auftretenden grauen oder braunen Farbenton grün erscheinen. Es erhellt aus alledem, in wie mannigfacher Weise die Farbenschwellen des Anomalen von Kontrastwirkungen beeinflußt werden, wobei es gleichgültig ist, ob es sich um ein Neben- oder Hintereinanderauftreten der Erscheinungen handelt, das ja ohnehin nicht immer scharf voneinander geschieden werden kann.

Ganz anders verhält es sich mit dem auf S. 133 erwähnten „Florkontrast" bei den Anomalen. Dieser beim Normalen so auffallenden und nie fehlenden Kontrastwirkung unterliegt nämlich der Anomale nicht, da der Eindruck der kontrasterregenden Farbe infolge der Abschwächung durch das bedeckende Florpapier zu geringwertig (unterschwellig) ist, um überhaupt einen Kontrast hervorbringen zu können.

Verhalten der Anomalen den Nachbildern gegenüber. Neben der nahen Verwandtschaft der anomalen zur normalen Trichromasie bestehen auch innige Beziehungen zur Dichromasie. Sie äußern sich u. a. in dem Verhalten des Anomalen den Nachbildern gegenüber, das vollkommen demjenigen entspricht, wie es die Dichromaten zeigen. Alle Lichter vom Rot bis zum Blaugrün geben für ihn ein und dasselbe Nachbild, das ihm bläulich erscheint. Im Blau scheint sein Verhalten gegenüber dem Nachbild dem des Normalen zu gleichen. Für das Nachbild zerfällt das Spektrum, genau wie für das Sehen des Dichromaten, in zwei Endstrecken, dazwischen liegt für das Entstehen der Nachbilder eine Umschlagsstelle, die der neutralen Stelle des jeweiligen Dichromaten entspricht. Diese Stelle wählt z. B. der Grünanomale, wenn er die Aufgabe erhält, am Spektralapparat den Punkt im Grün des Normalen einzustellen, der für ihn weder gelblich noch bläulich ist. Es geht daraus hervor, daß die Netzhautmitte des Anomalen auf spektrale Lichter trichromatenhaft, auf deren Nachbilder aber dichromatenhaft reagiert. Es zeigt sich hier also eine Sehweise des Anomalen, die völlig derjenigen des Dichromaten gleicht.

Im Gegensatz dazu werden die Nachbilder des Anomalen als mit denen des normalen Trichromaten übereinstimmend gefunden, sobald

man nur Ergebnisse von auf Pigmentfarbenbeobachtungen beruhenden Untersuchungen berücksichtigt, wie sie z. B. mit dem Farbenkreisel angestellt werden können. Dieser Unterschied muß aus der unvollkommenen Reinheit aller Pigmentfarben im Vergleich zu den Spektralfarben erklärt werden. Jedenfalls ist das beschriebene Verhalten eine wichtige Stütze für die Annahme einer Verwandtschaft der di- und trichromatischen Systeme und für die Stellung der Anomalen als Übergangsform zwischen Normalen und Dichromaten.

Das Farbensehen der Dichromaten und anomalen Trichromaten „auf großem Felde". Noch enger erscheinen die Beziehungen zwischen Dichromaten und anomalen Trichromaten unter Berücksichtigung einiger auch praktisch wichtiger Erscheinungen, die das sogen. Farbensehen der Dichromaten „auf großem Felde" bietet. Man begegnet nämlich gelegentlich Dichromaten, die im zentralen Sehen mit der Netzhautgrube ein typisch dichromatisches Farbensystem aufweisen, deren Sehen mit großen Netzhautflächen sich aber als ein trichromatisches erweist. Solche Dichromaten erkennen eine große Fläche, die von einem nicht allzu ungesättigten, z. B. roten Lichte erleuchtet ist, stets richtig als rot, was ihnen theoretisch eigentlich unmöglich sein müßte und bei kleinen nur das zentrale Sehen in Anspruch nehmenden Objekten auch tatsächlich nicht möglich ist. Auch das Verhalten den spektralen Mischungsgleichungen gegenüber ist bei größeren oder geringeren Lichtstärken entsprechend verschieden. Bei Reizung großer Netzhautflächen kann es sich in solchen Fällen demnach nicht mehr um das Vorliegen eines rein dichromatischen Systems handeln; vielmehr weist das Farbensehen „auf großem Felde" auch noch andere ganz bemerkenswerte Ähnlichkeiten mit dem Farbensehen, und zwar dem zentralen der anomalen Trichromaten auf. Es treten dann nämlich auch die oben beschriebenen sekundären Merkmale in typischer Weise auf. Es handelt sich bei dieser Art von Dichromaten meist um Deuteranope mit erhaltener Rotempfindung für das Sehen auf großem Felde, während die Grünempfindung gänzlich fehlt. Ähnliches gilt möglicherweise auch für die Protanopen, die sich auf großem Felde wie Rotanomale verhalten können. Und schließlich scheint die Annahme nicht unberechtigt, daß auch die Anomalen selbst auf großem Felde ein vollkommeneres System als bei zentralem Sehen

aufweisen. Doch muß eine Klärung aller dieser Fragen noch weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Jedenfalls heischen diese Verhältnisse volle Beachtung und Berücksichtigung bei allen Farbensinnprüfungen, da große bunte Flächen unter Umständen richtig erkannt werden können und dadurch einen normalen Farbensinn vortäuschen, der einer Prüfung nur der zentralen Farbensehschärfe nicht standhalten würde.

Häufigkeit und Vorkommen der Farbensinnschwäche. Die wissenschaftliche Kenntnis der anomalen Trichromasie datiert erst vom Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts, wo der englische Physiker Lord Rayleigh zuerst nachwies, daß auch die trichromatischen Systeme untereinander verschieden und in mehrere Gruppen zu teilen sind. Bis dahin rechnete man die Farbenschwachen je nach dem subjektiven Urteil der Untersucher über die größeren oder geringeren Abweichungen vom normalen Farbensehen teils der partiellen Farbenblindheit, teils dem normalen Farbensinn zu, wodurch sich auch die großen Unterschiede in den früheren Angaben über die Häufigkeit der Farbensinnstörungen erklären. Im Laufe der letzten Jahrzehnte wurden aber durch die Arbeiten von Donders, König, v. Kries, Nagel, Guttmann, Köllner u. a. die Kenntnisse über diesen Typus der Farbenuntüchtigen ganz außerordentlich gefördert und erweitert, so daß trotz mancher noch ungelöster Fragen zurzeit ein gewisser Abschluß dieser Forschungen als erreicht angesehen werden kann.

Offenbar kommt die anomale Trichromasie kaum seltener als die Dichromasie, wahrscheinlich sogar, zumal unter Zurechnung der praktisch geringgradigen, wissenschaftlich aber ihr zuzuteilenden Störungen etwas häufiger als jene vor. Man wird ihre Häufigkeit mit 4 Proz. der männlichen Bevölkerung zwar nicht sehr unterschätzen, sie jedoch aller Wahrscheinlichkeit nach mit 5 Proz. keineswegs überschätzen.

Was die Verteilung auf die beiden Formen der Farbensinnschwäche anlangt, so übertrifft ähnlich wie bei der Prot- und Deuteranopie die Deuteranomalie (Grünschwäche) die Protanomalie um ein Mehrfaches. Es kommt nämlich auf 3 bis 4 Grünanomale ein Rotanomaler, wahrscheinlich ist aber der Unterschied in der Häufigkeit beider Formen ein noch größerer.

Ebenso wie bei der Dichromasie wird auch der Farbensinnschwäche

von manchen Seiten eine stärkere Beteiligung der jüdischen Rasse zugeschrieben, die einen doppelt so starken Anteil an diesen Farbensinnstörungen aufweisen soll. Angesichts der noch viel zu unzulänglichen Ergebnisse der statistischen Berechnungen, die zudem neuerdings zu entgegengesetzten Resultaten geführt haben, muß indes zurzeit ein endgültiges Urteil über diese Frage bis zum Vorliegen umfassenderer Erhebungen vertagt werden.

Hinsichtlich der Erblichkeit der Farbensinnschwäche gilt das über die Erblichkeit aller Farbensinnstörungen allgemein Gesagte. Direkte Vererbung ist noch nirgends zur Beobachtung gekommen, doch lassen sich über den Vererbungstypus zurzeit noch keine sicheren Angaben machen.

Einseitige Farbensinnschwäche. Das bei der Dichromasie über einseitige Farbensinnstörungen Gesagte gilt natürlich in gleichem Sinne auch für die Farbensinnschwäche. Vielleicht ist die Seltenheit einseitiger Farbensinnstörungen nur eine scheinbare. Ihre praktische Bedeutung ist naturgemäß gering, solange das Sehvermögen des anderen farbentüchtigen Auges nicht in sonstiger Hinsicht beeinträchtigt ist, und es erklärt sich hieraus auch wohl ihre bisher so außerordentlich seltene Feststellung.

Ein in neuester Zeit genau untersuchter Fall, der eine Selbstbeobachtung einer zufällig festgestellten einseitigen Grünanomalie mittleren Grades bei einem Arzte betrifft, gibt indes so interessante Aufschlüsse über das Farbensehen des anomalen Auges im Vergleich mit den Empfindungen des normalen, daß ein kurzes Eingehen auf die hier beobachteten Unterschiede im beiderseitigen Farbensehen gerechtfertigt erscheint. Wie zu erwarten war, wurde ebenso wie bei den einseitigen Dichromaten das weiße Tageslicht von beiden Augen vollkommen gleich gesehen. Eine Mischung von spektralem Rot (670) und Blau (460), die für das normale Auge k a r m i n r o t aussah, erschien dem Anomalen schwächer gefärbt und bei längerer Betrachtung annähernd farblos; Mischung von Rot (670) und Gelbgrün (515) war für das anomale Auge nur etwas gelbroter als für das normale. Bei Grün war der Unterschied stärker in dem Sinne, daß für das anomale Auge anstatt des grünen der gelbe Farbton vorherrschend wurde. Die bunten Gegenstände der Umwelt erschienen dem normalen Auge viel

satter und leuchtender, dem anomalen hingegen matter und lichtschwächer. Aber auch Unterschiede in den Farbtönen wurden beobachtet, die indes keineswegs so groß waren, daß Farben wirklich verwechselt wurden. Vereinzelte grüne Blätter eines sich herbstlich verfärbenden Baumes z. B. wurden zuerst schwerer erkannt und erschienen nur verschieden gelb. Erst bei längerem Hinsehen erschienen sie zwar nicht richtig grün, aber doch als ausgesprochenes Gelbgrün. Ebenso war der rote Eindruck stets mehr gelb, kresser Abendhimmel z. B. machte völlig den Eindruck gelb. Überhaupt handelte es sich vornehmlich um Unterschiede bei Grün, dann noch bei Kreß und bei einigen Arten Gelb. Am geringsten waren sie bei Rot. Das Malen eines herbstlich gefärbten Waldes würde allein nach den Eindrücken des farbenschwachen Auges — natürlich unter Kontrolle beider Augen — bei der Farbengebung ganz verschieden von einem nach den Eindrücken des normalen Auges gemalten ausfallen. Gar kein Unterschied bestand bei Blau und Veil. Der Farbeneindruck beim beiderseitigen Sehen entsprach stets demjenigen des normalen Auges allein.

Vierzehntes Kapitel.

Die praktische Bedeutung der Farbensinnstörungen.

Die schon mehrfach im Verlaufe der bisherigen Ausführungen erwähnte große praktische Bedeutung, die den verschiedenen Farbensinnstörungen für eine ganze Reihe von Berufszweigen im täglichen Leben zukommt, erfordert es, die hierbei in Betracht kommenden Verhältnisse einer besonderen zusammenfassenden Besprechung zu unterziehen.

Obwohl die Bezeichnung „Farbenblindheit" jedermann geläufig ist, ist es doch auch dem Gebildeten meist unklar, um was für eine Störung es sich dabei handelt und wie sie als solche in praktischer Hinsicht zu bewerten ist. Meist hört man die Auffassung, sie sei zwar ein recht seltenes Vorkommnis, aber für den Befallenen stets von sehr ernster Bedeutung. Entweder stellt man sich darunter die echte, totale Farbenblindheit vor, deren außerordentlich große Seltenheit wir indes schon betonten, oder man hört die Ansicht, ein farbenblinder Mensch sei blind für Rot und Grün, d. h. er sehe eine oder beide Farben überhaupt nicht, also wohl mehr oder weniger gleichmäßig dunkel, oder aber, er könne zwar alle anderen Farben unterscheiden, sähe jedoch Grün und Rot gleich und verwechsle daher ständig diese beiden Farben miteinander. Obwohl in jeder dieser Meinungen ein Körnchen Wahrheit steckt, sind sie doch in dieser oder ähnlicher Formulierung unrichtig. Die im gewöhnlichen Leben sogenannten Farbenblinden sind weder, wie der Ausnahmefall des total Farbenblinden, blind für alle Farben, noch verwechseln sie nur rote und grüne Farbtöne, sondern sie verwechseln je nach der Art und dem Grade der vorliegenden Farbensinnstörung eine mehr oder weniger große Reihe von Farben (darunter natürlich auch Rot und Grün), die der Normale richtig unterscheidet.

Nicht viel anders verhält es sich mit der landläufigen Beurteilung des Begriffs der Farbenschwäche. Nur selten versteht man darunter

den weiter oben genau charakterisierten Zustand der anomalen Trichromasie mit seinen besonderen Merkmalen, sondern man benutzt ihn entweder für alle überhaupt vorkommenden Farbensinnstörungen unterschiedslos, indem man ihn mit der Farbenblindheit — höchstens im Sinne einer gewissen Abmilderung dieser gegenüber — zusammenwirft, oder aber man bezieht ihn auf die durch den Mangel an Übung, Intelligenz und Farbenkenntnis bedingte Unsicherheit oder Unkenntnis in bezug auf die Farbenbenennungen, die aber, wie wir sahen, mit den wirklichen Farbensinnstörungen nicht das Geringste zu tun haben und deren gewiß nicht zu verkennende praktische Bedeutung ganz anders einzuschätzen ist.

Farbentüchtigkeit als Vorbedingung zur Eignung für den Eisenbahn- und Schiffahrtsdienst. Auf Grund unserer bisherigen Ausführungen können wir uns unschwer eine Vorstellung machen von der geringen Leistungsfähigkeit aller Farbenuntüchtigen, wenn sie in Berufen tätig sind, in denen es auf die Erkennungs- und Unterscheidungsfähigkeit von Farben ankommt. Im Vordergrunde des Interesses stehen hier der Eisenbahn- und Marinedienst, und von diesen beiden wichtigen Berufszweigen hat denn auch die Erkenntnis der hohen Bedeutung der Farbensinnstörungen überhaupt ihren Ausgangspunkt genommen. Sie lenkten nämlich die Aufmerksamkeit weiterer Kreise erst auf sich, als infolge der allgemeinen Einführung bunter Signale im See- und Eisenbahnverkehr erkannt wurde, von welch weittragender und folgenschwerer Bedeutung die auf mangelhaftem Farbensinn beruhenden Verwechslungen solcher bunten Signale werden konnten. Während man bis dahin nur die extremen Grade der Farbensinnstörungen, nämlich die echte totale Farbenblindheit hinsichtlich ihrer praktischen Bedeutung näher berücksichtigte, diese aber schon infolge der fast stets mit ihr einhergehenden Herabsetzung des Sehvermögens die Farbenblinden von vornherein für die genannten Berufe untauglich machte, lag so lange kein besonderer Grund vor, den anderen Farbensinnstörungen vom Standpunkte der Eignung zum Seemannsberuf eine besondere Bedeutung beizumessen, als bei der noch wenig entwickelten Seeschiffahrt der Gebrauch bunter Signale noch keinen größeren Umfang angenommen hatte. Dies änderte sich aber bald mit der allgemein werdenden Benutzung des Dampfes als treibende

Kraft für Schiffahrt und Eisenbahn. Der dadurch bedingte rasche Aufschwung und der zunehmende Umfang der Seeschiffahrt, die jetzt ermöglichten größeren Geschwindigkeiten, die Innehaltung dieser Geschwindigkeiten auch zur Nachtzeit oder bei Nebelwetter und auf regelmäßig eingehaltenen, von den Windverhältnissen unabhängigen Fahrtstrecken mußten notwendigerweise das Signalwesen zur See mittels bunter Lichter zu einer um so größeren Bedeutung bringen, je mehr die aus all den genannten Umständen erwachsenden Gefahren zunahmen. Eine noch größere Wichtigkeit gewann das Signalwesen in der Kriegsmarine, wo bei den Manövrierübungen in Verbänden die gegenseitige Verständigung und Befehlsübermittlung von Schiff zu Schiff größtenteils mittels bunter Signale in Gestalt von Flaggen und Lichtern (Leuchtsignalen) erfolgt, die schnell und sicher gegeben und erkannt werden müssen. — Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei dem ebenfalls mit bunten, zumal roten und grünen Signalen in Form von Signalscheiben und -lichtern geübten Eisenbahndienst. In allen diesen Betrieben stellte sich mit der Zeit heraus, — und leider waren Unglücksfälle, die sich in beängstigender Weise mehrten, die erste Veranlassung zu derartigen Feststellungen, — daß eine ganze Anzahl von See- und Eisenbahnunfällen, Schiffszusammenstößen infolge unrichtig eingehaltener Fahrtstrecken und Geschwindigkeiten usw. nur auf falsches Verstehen richtig gegebener bunter Signale zurückgeführt werden konnte. Es konnte ferner bewiesen werden, daß in einer weiteren Reihe von Fällen derartige Unglücksfälle nur durch rechtzeitiges Eingreifen anderer noch im letzten Augenblick verhütet wurden und daß endlich ein ähnlicher Nachweis vielfach nur durch den Tod der dabei Beteiligten vereitelt wurde. Alle diese Umstände wirkten zusammen, dem Farbensinn des Schiffs- und Eisenbahnpersonals eine vermehrte Aufmerksamkeit zuzuwenden und nicht, wie bisher, nur auf alle möglichen anderen, scheinbar viel näher liegenden Ursachen zu fahnden, anstatt die allerdings noch wenig bekannten und für belanglos gehaltenen Verhältnisse des Farbensinns zu berücksichtigen. Wir sehen daher erst in den letzten Jahrzehnten bei den beteiligten Kreisen die Überzeugung gereift, daß ein großer Teil der besagten Unfälle tatsächlich auf Verwechslung bunter Signale zurückzuführen ist, deren Ursache einzig und allein in einem mangelhaften Funktionieren des Farbensinns der betreffenden Angestellten zu suchen ist. Selbst wenn solch ein farbenuntüchtiger

Beamter es durch Übung und geschickte Ausnutzung der Helligkeits- und Sättigungsunterschiede und sonstiger Merkmale bis zu einem gewissen Grade dahin bringt, die roten, grünen, weißen oder gelben Signale richtig auseinanderzuhalten, so handelt es sich bei ihm doch nie um ein absolut sicheres Erkennen dieser Farben, sondern nur um ein Erraten, das zwar meistens, zumal bei günstigen Verhältnissen, richtig erfolgt, im gegebenen Falle aber vollständig versagen kann. Es würde zu weit führen, alle die verschiedenen Einflüsse der Witterung usw. (nebelige, diesige, rauchgeschwängerte Luft, herabgesetzte Beleuchtung, verblaßte oder verschmutzte Signalscheiben und Laternen, Unterschiede in der Lichtstärke, in der Entfernung, Kontrastwirkungen, zu kurze Dauer des Licht- oder Farbeneindruckes) des näheren zu erörtern, die hierbei eine mehr oder weniger ausschlaggebende Rolle spielen können.

Wenn man sich fragt, wie es dazu kommen konnte, daß es erst so vieler übler Erfahrungen bedurfte, ehe man sich von der Bedeutung der Farbensinnstörungen in diesem Zusammenhang überzeugte, so sei daran erinnert, daß die meisten Farbenuntüchtigen, insbesondere diejenigen leichteren Grades, sich ihres Zustandes gar nicht bewußt sind. Auch hört man nicht selten von ihnen, wenn sie sich bei der einen oder anderen Gelegenheit wirklich von der Mangelhaftigkeit ihres Farbensinnes überzeugen mußten, ihr Farbensinn habe sich im Laufe der Zeit wieder gebessert, sei es von selbst, sei es infolge ihnen ärztlich oder anderweitig empfohlener methodisch durchgeführter Übungen ihres Farbensinnes.

Vielfach liegt auch ein Interesse vor, wider besseres Wissen den Zustand der Farbenuntüchtigkeit zu verheimlichen, vor allem, wenn die Befürchtung besteht, aus einem Berufe, der Farbentüchtigkeit verlangt, ausgeschlossen zu werden und dadurch wirtschaftliche Nachteile zu erleiden. Zum Teil tragen auch die durch die verschiedenen Untersuchungsmethoden gezeitigten Abweichungen in den Prüfungsergebnissen, zumal bei den leichteren, sich dem normalen Farbensinn nähernden Fällen dazu bei, die Untersuchten in ihrer Überzeugung zu bestärken, daß sie sich eines wiedergewonnenen normalen Farbensinnes zu erfreuen haben.

Auf Grund der Erkenntnis von der wichtigen Rolle und den verhängnisvollen Folgen, welche unter solchen Umständen den dazu noch

nicht einmal seltenen Farbensinnstörungen zuzuschreiben sind, hat man den Vorschlag gemacht, auf bunte Signale ganz zu verzichten. Da aber das jetzige Signalsystem zur See im ganzen internationalen Verkehr gebräuchlich ist, wird seine allgemeine Abschaffung, wenn überhaupt, nur mit Schwierigkeiten und jedenfalls nicht in absehbarer Zeit zu erreichen sein, und so haben, solange an eine Änderung nicht zu denken ist, die verantwortlichen Behörden die Pflicht, die Sicherheit des Betriebes und damit des Lebens und der Gesundheit des Publikums auch dadurch zu gewährleisten, daß sie alle Farbenuntüchtigen von solchen Stellungen fernhalten, wo sie auf das richtige Erkennen bunter Signale angewiesen sind. Dieser Forderung werden heute schon die meisten Behörden bei den verschiedenen Kriegs- und Handelsmarinen sowie den Eisenbahnverwaltungen und Eisenbahntruppen ferner beim Forstdienst dadurch gerecht, daß sie für den in Frage kommenden Teil der betreffenden Berufsangehörigen als Bedingung für ihre Tauglichkeit den Nachweis eines vollwertigen Farbenerkennungs- und Unterscheidungsvermögens verlangen. Von dem Ergebnis der Prüfung, die bei bestimmten Dienstzweigen sogar in regelmäßigen mehrjährigen Zwischenräumen zu wiederholen ist, wird die Anstellung oder das weitere Verbleiben in der bisherigen Tätigkeit abhängig gemacht.

Abhängigkeit anderer Berufe vom Farbensinn. Die große praktische Bedeutung der Farbensinnstörungen erschöpft sich keineswegs mit diesen wichtigen Beziehungen zur Sicherheit des öffentlichen Eisenbahn- und Schiffsverkehrs. Vielmehr ist ein vollwertiger Farbensinn die unerläßliche Vorbedingung für eine ganze Reihe anderer praktischer Berufsarten. Hierher gehören die verschiedenen Gewerbe der Bekleidung, des Putzes, des Schmuckes, des Buch- und Kunstdruckes, die wichtigen Industriezweige der Farbenfabrikation und der Stoff-, Papier-, Holz-, Leder- usw.) Färbereien; ferner die künstlerischen und kunstgewerblichen Betätigungen aller Art, sowie die landwirtschaftlichen und Gärtnereibetriebe. Doch auch ein großer Teil der gelehrten und naturwissenschaftlichen Berufe beansprucht einen normalen Farbensinn, z. B. die Botanik, Zoologie, Geologie, Physik und nicht zum wenigsten die Chemie mit ihren vielfachen und feinen Farbenreaktionen. Des weiteren ist für den ärztlichen Beruf ein vollwertiger Farbensinn da erforderlich, wo es auf die Erkennung und Unterscheidung von

Verfärbungen der Haut und der Schleimhäute ankommt, ferner bei der Anwendung der bakteriologischen und chemischen Färbemethoden, bei der Arzneimittel- und Drogenkunde, den Nahrungs- und Genußmitteluntersuchungen. Bei den Truppen der Landheere hat die Farbenuntüchtigkeit insofern eine Bedeutung, als hier ähnlich wie bei Eisenbahn und Marine eine Anzahl bunter Signale (Flaggen, Leuchtkörper usw.) dienstliche Verwendung findet, deren richtiges Geben und Erkennen ebenso notwendig ist wie die Unterscheidung jeglicher bunter Merkmale im Felde, z. B. für das Erkennen des Feindes und die Vermeidung der Verwechslung mit eigenen Truppen. Vor allem muß der Truppenführer, dessen Urteil maßgebend ist, über einen normalen Farbensinn verfügen, mindestens aber über seine etwaige Farbensinnstörung in ihren Wirkungen unterrichtet sein. Ähnliches gilt für die Führer von Kraftfahrzeugen, denn einem farbenuntüchtigen Auge auch leichtesten Grades wird die schnelle Erkennung und Unterscheidung bunter Gegenstände im Gelände naturgemäß viel schwieriger sein als dem farbentüchtigen. Auch die häufige Verwendung bunter Wegezeichen und Karten ist hierbei zu berücksichtigen. Man ersieht aus diesen kurzen Aufzählungen zur Genüge, wie vielseitig und ausschlaggebend die Anforderungen an ein normales Farbenunterscheidungsvermögen im praktischen Leben sind und welch außerordentlicher Wert ihm beizumessen ist. Man erkennt daran auch die Wichtigkeit, vor der Frage der Berufswahl über die Funktion des Farbensinnes unterrichtet zu sein, um Mißerfolgen und Enttäuschungen im Berufsleben rechtzeitig vorzubeugen und unberechtigten Vorwürfen zu entgehen. Hierbei verdienen die sozialen Verhältnisse insofern eine besondere Berücksichtigung, als die zu späte Erkennung einer Farbensinnstörung z. B. im Eisenbahn- und Seemannsberuf zu empfindlichen ökonomischen Beeinträchtigungen führen kann, wenn die Weiterverwendung in einem dieser Berufe plötzlich ausgeschlossen erscheint. Eine ganze Lebensarbeit ist unter Umständen vergeblich gewesen, wenn die Minderwertigkeit des Farbensinns erst so spät aufgedeckt wird, daß die Aufnahme eines anderen Berufes entweder gar nicht oder nur mit großen wirtschaftlichen und anderen Opfern zu ermöglichen ist. Aus diesen Gründen ist die Forderung berechtigt, womöglich schon vor der Schulentlassung für die Feststellung der Farbentüchtigkeit Sorge zu tragen und die für farben-

untüchtig befundenen jungen Leute darüber zu beraten, für welche Berufe sie als ungeeignet nicht oder nur mit Einschränkungen in Frage kommen, um sie vor unausbleiblichen späteren Enttäuschungen rechtzeitig zu bewahren.

Bewertung der einzelnen Formen der Farbensinnstörungen. Man hat auch die Frage erörtert, ob und welche Unterschiede hinsichtlich der praktischen Bewertung und Beurteilung der einzelnen Formen der verschiedenen Farbensinnstörungen zu machen sind. Für die totale Farbenblindheit mit ihren Nebenerscheinungen des herabgesetzten Sehvermögens erledigt sich diese Frage von selbst. Aber man dürfte geneigt sein, die Formen der Dichromasie und der anomalen Trichromasie insofern verschieden einzuschätzen, als letztere — die Farbensinnschwäche— auch in praktischer Hinsicht für die leichtere Störung gegenüber der bedeutungsvolleren Dichromasie zu halten sei. Zwar ist die Mannigfaltigkeit der bunten Eindrücke naturgemäß beim anomalen Trichromaten eine bedeutend größere als beim Dichromaten, aber es ist wohl zu bedenken, daß sein Farbensinn durch das Zusammenwirken der beiden vielgestaltigen Symptomenreihen — der spektralen Anomalie und der sekundären Merkmale — in der mannigfaltigsten Weise ungünstig beeinflußt werden kann. Handelt es sich, wie in den weitaus meisten Fällen, um ein gleichzeitiges Auftreten beider Erscheinungsreihen, dann ist zumal vom praktischen Standpunkt der Eignung zu den genannten verantwortlichen Berufen die Farbenuntüchtigkeit des Anomalen nicht milder zu beurteilen als diejenige des Dichromaten. Sie ist sogar, wenigstens bei stark ausgesprochenen sekundären Merkmalen, als gefährlicher einzuschätzen, weil das anomale Farbensehen so sehr viel unbestimmter, schwankender und von den äußeren Umständen der Helligkeit, Witterung, Entfernung, Objektgröße, Ermüdung und Kontraststeigerung abhängiger als das dichromatische ist. Die Farbenschwachen unterliegen daher heute Täuschungen, die sie morgen vermeiden können und erschweren dadurch naturgemäß ein endgültiges Urteil bei nur oberflächlicher oder einmaliger Prüfung. Man wird daher das Farbenunterscheidungsvermögen eines spektral Anomalen o h n e die sekundären Erscheinungen der Farbenschwäche im Zweifelsfalle viel eher für „noch ausreichend" erklären können als dasjenige eines farbenschwachen, sonst normalen Trichromaten. Daß

hierbei auch die Rücksicht auf die Intelligenz und die Kenntnis der Farbenbenennungen nicht außer acht gelassen werden darf und für sich entsprechend einzuschätzen ist, versteht sich nach den früheren Ausführungen von selbst.

Es ist schon darauf hingewiesen worden, daß, während die meisten sekundären Merkmale stets eine Minderwertigkeit des Farbensinnes bedeuten, die Erscheinungen des gesteigerten Farbenkontrastes unter Umständen eine Verbesserung des Farbensinnes zur Folge haben können. Die Tatsache nämlich, daß beim Anomalen die unterschwelligen Farbenempfindungen durch den gesteigerten Kontrast seitens einer überschwelligen Farbe, ja, daß zwei für sich allein betrachtet, unterschwellige Farben bei gleichzeitiger Betrachtung nebeneinander durch gegenseitigen Kontrast über ihre Schwelle gehoben, d. h. spezifisch empfunden werden, führt unter günstigen Umständen zu Farbenempfindungen, die diejenigen des Normalen nicht nur erreichen, sondern an Feinheit sogar übertreffen können. Infolgedessen findet man in der Tat bei nicht wenigen anomalen Trichromaten ein besonders fein entwickeltes Verständnis für Malerei, insbesondere für landschaftliche Stimmungsbilder, und es fehlt, wie wir sahen, selbst nicht an ausübenden Malkünstlern, die trotz ihrer nachweisbaren Farbensinnanomalie sehr geschätzte und künstlerisch hochstehende Erzeugnisse zu liefern imstande sind. Solche Anomale sind also trotz ihrer physiologischen Minderwertigkeit, die sie von einer Reihe sozialer Berufe ausschließen müßte, in denen die sichere Erkennung gewisser Farbenunterschiede von ausschlaggebender Bedeutung ist, im ästhetischen Sinne keineswegs ebenso als „farbenschwach" zu bezeichnen.

Sollten sich in Zukunft die bisher nur ganz vereinzelt beobachteten einseitigen Farbensinnstörungen als häufiger vorkommend erweisen, so sind sie bei der Beurteilung der Tauglichkeit für die in Betracht kommenden Berufszweige solange dem normalen Farbensystem gleichzustellen, als kein herabgesetztes Sehvermögen des normalen Auges die durch dieses gewährleistete Farbentüchtigkeit in Frage stellt.

Erziehung und Übung des Farbensinns. Wenn auch die hier und da geäußerte Vermutung, daß Farbensinnstörungen in den unteren Schichten der Bevölkerung häufiger als bei den höheren anzutreffen seien, sich weder statistisch hat nachweisen lassen, noch überhaupt irgend-

welche Wahrscheinlichkeit für sich hat, so ist es doch Tatsache, daß in den unteren Bevölkerungskreisen der feineren Ausbildung des Farbensinnes so gut wie gar keine Beachtung geschenkt wird. Die Kinder, insbesondere die Knaben, wachsen vielfach auf, ohne daß sie auch nur die geringste Vorstellung von der Natur und dem Namen der Farben erhalten. Untersuchungen von Schulkindern nicht nur der unteren Klassen über den Farbensinn im Sinne der Kenntnis der einzelnen Farbenbenennungen und ihrer begrifflichen Unterscheidung haben zu der verblüffenden Feststellung geführt, daß diese Kenntnisse fast durchweg höchst mangelhaft sind. Ja selbst von erwachsenen und gebildeten Menschen werden z. B. die Bezeichnungen Braun und Grau vielfach sehr willkürlich, wenn nicht direkt verkehrt angewandt. Viele sind sich über die Beurteilung der Begriffe Kreß, Veil und Purpur durchaus im Unklaren. Selbst die Begriffe Grün und Blau werden von der ungebildeten Bevölkerung in der Farbenbenennung häufig durcheinandergeworfen. Bei den Mädchen liegen die Verhältnisse allerdings günstiger, indem sie sowohl in der Schule beim Unterricht in weiblichen Handarbeiten als auch in ihrer häuslichen Beschäftigung und beim Spiel mit Gegenständen des Putzes und der Kleidung viel mehr mit bunten Farben und Farbenzusammenstellungen zu tun haben und infolgedessen ganz von selbst zu einer größeren Schulung und Vervollkommnung ihres Farbensinnes gelangen als die Knaben. Es ist daher verständlich, daß der auffallende Tiefstand der elementarsten Kenntnisse der bunten Begriffe und Benennungen, zumal beim männlichen Geschlecht, zu dem Vorschlag geführt hat, bereits in den Schulen den Farbensinn der Kinder durch methodische Übungen mittels besonderer hierfür hergestellter Unterrichtsmittel, z. B. in Gestalt von Farbentafeln u. ä. zu erziehen und auszubilden, natürlich nur unter der Voraussetzung, daß durch diesen Anschauungsunterricht nichts mehr als eine schnellere Auffassung und eine genauere Benennung der verschieden empfundenen Farbtöne, mit anderen Worten, eine höhere und verfeinerte Ausbildung eines an sich fehlerfreien normalen Farbensinnes erzielt werden soll. Denn nach dem heutigen Stand der wissenschaftlichen Anschauungen über das Wesen des Farbensinnes kann von der früher vielfach als erreichbar behaupteten Verbesserung des Farbensinnes in dem Sinne, daß ein physiologisch farbenuntüchtiges Individuum die Farben schließlich ebenso zu sehen lernt, wie sie der Normale sieht, mit einem Wort,

von einer Heilung einer wenn auch noch so geringfügigen Farbensinnstörung nun und nimmer die Rede sein.

An dieser Stelle mag ein kleiner Kunstgriff erwähnt werden, dessen sich die Rotgrünverwechsler im gegebenen Falle mit Erfolg bedienen können, um rote und grüne Farbtöne als solche zu erkennen. Bekanntlich verlieren, durch ein rotes Glas betrachtet, alle grünen Farben am meisten an Helligkeit, am wenigsten oder gar nicht die roten. Umgekehrt sehen alle grünen Farbtöne, durch ein grünes Glas betrachtet, verhältnismäßig hell, die roten dunkel aus. Durch abwechselndes Benutzen eines roten und grünen Glases kann man also im Zweifelsfalle erkennen, ob es sich um Rot oder Grün handelt und bei einiger Übung selbst geringe Beimengungen von Rot oder Grün zu einer anderen Farbe feststellen.

Fünfzehntes Kapitel.

Die Erkennung und Feststellung der Farbensinnstörungen.

Zweck und Leistungsfähigkeit der Untersuchungsmethoden. Nach den vorangegangenen Erörterungen über das Wesen und die hervorragende Bedeutung der Farbensinnstörungen im allgemeinen und für die Sicherheit der öffentlichen Verkehrswege zu Lande und zu Wasser im besonderen liegt nichts näher als die Frage nach den Mitteln und Wegen, die uns zu Gebote stehen, um im gegebenen Fall das Vorliegen einer Farbensinnstörung überhaupt und weiter ihre Zugehörigkeit zu einer der näher beschriebenen Formen nachzuweisen. Denn es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß es von der größten Wichtigkeit sein muß, Untersuchungsmethoden zu besitzen, durch welche jede, auch die geringgradigste Farbensinnstörung mit möglichster Sicherheit nachzuweisen und hinsichtlich ihrer praktischen Bewertung zu beurteilen ist.

Die verschiedenen, zumal im Laufe der letzten Jahrzehnte empfohlenen und zurzeit gebräuchlichen Prüfungsmittel erfordern schon deshalb eine eingehendere Besprechung, weil auch die im allgemeinen als brauchbar anerkannten Methoden neben ihren Vorzügen noch so manche Mängel aufweisen, daß wir zurzeit noch weit davon entfernt sind, von einer absoluten Verläßlichkeit der einen oder anderen Methode sprechen zu können. Um so mehr müssen wir darüber unterrichtet sein, wie weit im einzelnen ihre Leistungsfähigkeit geht und ob und wie weit sie sich gegenseitig zu ergänzen vermögen. Die mit den reinen Spektralfarben arbeitenden Polarisations-Farbenmischapparate z. B. sind derart umständlich und schwierig zu handhaben, daß nur wissenschaftlich besonders geschulte und mit ihrem Gebrauch durchaus vertraute und geübte Untersucher imstande sind, mit ihnen brauchbare Resultate zu erzielen. Zudem sind sie außerordentlich kostspielig, so daß sie nur in einer ganz

beschränkten Anzahl zur Verfügung stehen und ihre Verwendung sich daher lediglich auf einzelne physikalische und physiologische Institute beschränkt. Und weiter, so verläßlich die mit solchen Apparaten gewonnenen Ergebnisse auch, vom rein wissenschaftlichen Standpunkte betrachtet, sein können und es auch tatsächlich sind, so werden sie den für die Praxis des täglichen Lebens zu stellenden Anforderungen doch schon aus dem Grunde nur teilweise gerecht, weil wir es hier fast nie mit den reinen Farben des Spektrums, sondern, wie schon oft betont, fast ausnahmslos mit den zusammengesetzten und daher „unreinen", d. h. Weiß und Schwarz enthaltenden Körperfarben zu tun haben. Diesen gegenüber das Verhalten des Farbensinns im gegebenen Falle prüfen zu können, muß aber durch das Prüfungsmittel unter allen Umständen gewährleistet sein. Daß diese kurzerhand als Pigmentproben bezeichneten Prüfungsmittel alle noch mehr oder weniger weit von dem zu erstrebenden Ideal entfernt sind, geht unter anderem aus der großen und immer noch wachsenden Anzahl der neu empfohlenen Untersuchungsmethoden hervor. Es kann nicht unsere Aufgabe sein, sie alle des näheren zu beschreiben und ihre mehr oder weniger große Brauchbarkeit zu erörtern, sondern es sollen nur die zurzeit am meisten gebräuchlichen Proben Erwähnung finden, wobei wir uns auf die notwendigsten Angaben hinsichtlich der ihnen zugrunde liegenden Prinzipien und ihrer Verwendungsmöglichkeiten beschränken müssen. Dem mit den Theorien und dem Stand unserer Kenntnisse über das Zustandekommen des Farbensehens nur oberflächlich Vertrauten wird es auf den ersten Blick verwunderlich erscheinen, daß die Feststellung eines vom Normalen abweichenden Farbensinnes überhaupt so große Schwierigkeiten bereiten kann und er wird meinen, bei einigermaßen vorhandener Intelligenz müßte sich der Farbenuntüchtige ohne weiteres durch die abweichende und fehlerhafte Benennung der einzelnen, zumal der gangbaren, Farbtöne verraten. Aber wir haben bereits gezeigt, welch geringer Wert den Farbenbenennungen seitens des Farbenuntüchtigen beizumessen ist, da sein Farbensystem ein ganz anders geartetes und selbst in den leichtesten Fällen ein vom Normalen in mehr als einer Hinsicht abweichendes ist, trotzdem er sich besonders bei guter Intelligenz genau derselben Farbenbezeichnungen wie der Normale, und zwar, wie wir sahen,

in den meisten Fällen sogar richtig zu bedienen gelernt hat. Was er aber nie lernen kann, ist, die Farbenbezeichnungen, welche er mit dem Normalsehenden anwendet, ebenso wie dieser zu verstehen und sie auf seine anders gearteten Farbenempfindungen richtig zu übertragen; sie bleiben ihm vielmehr leere und bedeutungslose Begriffe, ohne das beim Normalen physiologisch gewordene Wechselverhältnis zwischen Empfindung und Benennung und ohne die sprachliche Verkörperung der subjektiven Empfindungsvorgänge.

Man wird daher nie zu einem brauchbaren Urteil über den Farbensinn eines Individuums kommen, wenn man dieses nur veranlaßt, mittels der allgemein gebräuchlichen Farbennamen subjektive Angaben über seine Farbenempfindungen zu machen und man darf sich unter keinen Umständen verleiten lassen, aus den diesbezüglichen Angaben, so zuverlässig und vertrauenerweckend sie auch klingen mögen, bindende Schlüsse auf den Zustand des Farbensinns zu ziehen. Alle Prüfungsmittel also, welche sich nur auf die subjektiven Angaben der Prüflinge über Aussehen und Benennung der Farben gründen, sind von vornherein als untauglich zu verwerfen und sind ebenso wie alle Methoden zu verurteilen, welche es sich zur Aufgabe machen, in diesem Sinne eine Besserung und Erziehung des Farbensinns anzustreben. Das Ziel, eine angeborene Farbensinnstörung hierdurch zu beheben, sie wie eine Krankheit zu heilen, ist unerreichbar und wird es bleiben.

Die Spektralapparate; Nagels Anomaloskop. Je mehr man sich von der Wertlosigkeit der subjektiven Farbenbenennungen als Maßstab für die richtige Funktion des Farbensinns überzeugt hatte, um so dringender machte sich das Bedürfnis nach wirklich objektiven Prüfungsmitteln geltend, die geeigneter waren, die wichtige Frage der Entscheidung, ob normaler Farbensinn oder eine Farbensinnstörung vorliegt, oder, auf die praktischen Verhältnisse bezogen, ob es sich um Farbentüchtigkeit oder -Untüchtigkeit handelt, zutreffend zu beantworten. Es ergibt sich daraus die selbstverständliche Voraussetzung, daß die zu benutzenden Methoden, entsprechend unseren jetzigen wissenschaftlichen Anschauungen und Kenntnissen von den Störungen des Farbensehens, sowohl die dichromatischen Rotgrün-Verwechsler als auch die trichromatischen Farbenschwachen

zu ermitteln imstande sein müssen. Alle Methoden nun, die sich nach den bisherigen Erfahrungen als hierfür zweckmäßig erwiesen haben, ohne allerdings im Falle nachgewiesener Farbenuntüchtigkeit gleichzeitig auch ein sicheres Urteil über die besondere Form der ihr zugrunde liegenden Farbensinnstörung abgeben zu können, beruhen auf dem Prinzip des Vergleiches verschiedener bunter Eindrücke. Das gilt sowohl für die mit Spektrallichtern arbeitenden Prüfungsmittel als auch für die mit Pigmentfarben hergestellten Proben. Bei diesen Vergleichsproben ist natürlich gegen Farbenbenennungen nichts einzuwenden, solange sie nur zur Feststellung dienen, ob zwei oder mehr vorgelegte Farben als Gleichung gesehen werden oder nicht. Wie gesagt, kommen die großen Polarisationsfarbenmischapparate, z. B. der von Helmholtz konstruierte, für die praktische Erkennung von Farbensinnstörungen überhaupt nicht in Betracht, sondern dienen nur rein wissenschaftlichen Zwecken, für die sie allerdings unentbehrlich sind und an denen auch die wichtigsten theoretischen Grundlagen für die Gesetze der Lichtmischungen, für die Erklärung der verschiedenen Arten der Farbensinnstörungen und ihre gegenseitigen Beziehungen zueinander und zum normalen Farbensinn gewonnen sind. Dahingegen muß hier ein vereinfachter Spektralapparat, das Anomaloskop, Erwähnung finden, den wir dem Physiologen Nagel verdanken und der einen für praktische Zwecke, ja selbst für Massenuntersuchungen brauchbaren vereinfachten Farbenmischapparat darstellt, dessen Zuverlässigkeit demjenigen Helmholtz' nichts nachgibt. Auf seine genaue Konstruktion — er wird in zwei verschiedenen Modellen hergestellt — näher einzugehen, würde zu weit führen. Auch bei ihm wird durch Vergleich festgestellt, welche Lichter und Lichtmischungen einem einzeln gezeigten homogenen Licht gleich aussehen. Er beruht also ebenfalls auf dem Prinzip der „optischen Gleichungen", deren Herstellung durch einfache Drehungen an einem Schraubensystem des Apparates bewerkstelligt wird, während das Auge gleichzeitig die beiden halbkreisförmig nebeneinander angeordneten Farbenfelder wie durch ein Fernrohr mit einem Auge betrachtet und in ihrem Helligkeits- und Farbenverhältnis beurteilt und reguliert, bis sie farben- und helligkeitsgleich erscheinen. Der Farbentüchtige kann auf diese

Weise ein Mischungsverhältnis zwischen Rot und Grün herstellen, das dem reinen Gelb an Farbton und Helligkeit völlig, an Sättigung annähernd gleich ist.

In einem gelblichen Rot und ebenso in einem gelblichen Grün kann ein Rotgrün verwechselnder Dichromat (Protanop und Deuteranop) bekanntlich nur die gelbe Farbe empfinden. Bei der spektralen Prüfung mit dem Anomaloskop, in dem das gelbe Licht des einen Halbkreises in seiner Intensität, das gemischte Licht des anderen Halbkreises in seinem Mischungsverhältnis fein abstufbar ist, so daß es jeden Farbton vom reinen Rot über Gelb bis zum Grün annehmen kann, zeigt sich dies darin, daß jede beliebige Mischung vom Rot der Lithium- und Grün der Thalliumlinie, ebenso ungemischtes Rot und ungemischtes Grün beim Dichromaten eine Gleichung mit dem Gelb der Natriumlinie ergibt, wenn dessen Helligkeit durch Veränderung der die Helligkeit regulierenden Spaltweite durch entsprechende Schraubendrehungen richtig eingestellt wird. Man reicht also zur Erkennung der Dichromaten mit der Gegenüberstellung von je zwei der genannten homogenen Lichter vollkommen aus, indem man einfach prüft, inwieweit zwischen Rot oder Grün einerseits und Gelb anderseits Scheingleichungen zu erzielen sind.

Die Farbensinnstörung des Protanopen äußert sich darin, daß die Helligkeit des Gelb bei der Rot-Gelbgleichung bedeutend geringer sein muß, als bei der Deuteranopie.

Die Farbenschwachen (Protanomale und Deuteranomale) kennzeichnen sich dadurch, daß es für sie ein ziemlich weites Mischungsgebiet gibt, innerhalb dessen das Rotgrüngemisch dem reinen Natriumgelb annähernd gleich ist, daß jedoch nur ein bestimmtes Mischungsverhältnis völlige Gleichheit ergibt. Der Quotient des Rotgrüngemisches gibt dabei die Möglichkeit, den normalen Farbensinn von dem anomalen zu unterscheiden. Die Gleichung Lithiumrot + Thalliumgrün = Natriumgelb hat dadurch ihre besondere Bedeutung erlangt und wird nach ihrem Entdecker die Rayleigh-Gleichung genannt. Bei ihr wird vom Rotschwachen die Helligkeit des Vergleichsgelbs viel geringer gewählt als bei der Grünschwäche. Bei der Einstellung seiner Farbengleichung erscheint dem Normalen das Mischlicht rötlich, bei derjenigen des Grünschwachen erscheint es ihm grünlich. Dies rührt davon her,

daß der Rotschwache das Rot, der Grünschwache das Grün weniger stark als der Normale empfindet. Infolgedessen macht dem Rotanomalen die Erkennung und Unterscheidung von Rot und Gelbrot, dem Grünanomalen die Unterscheidung von Gelb und Gelbgrün Schwierigkeiten. Auch die sekundären Merkmale der Anomalen lassen sich am Anomaloskop gut nachweisen. Leider macht die Unmöglichkeit, spektrale Apparate, insbesondere Mischungsapparate wie das Anomaloskop billig und leicht transportabel herzustellen, diese zuverlässige Methode nicht jedem zugänglich. Überdies ist stets der Anschluß an eine besondere künstliche, möglichst gleich helle Lichtquelle (am besten Gas- oder Spiritusglühlicht) erforderlich.

Auch ehe man die große Bedeutung der an den Spektralapparaten gewonnenen Mischungsgleichungen für die Erkennung der Farbensinnstörungen erkannt hatte, verwertete man die reinen Spektrallichter zu dem gleichen Zweck in der allerdings recht primitiven Form, daß man den Prüfling veranlaßte, für einen jeden der im Spektrum erblickten Farbtöne aus einem Sortiment bunter Wollproben die gleichbunten Wollbündel, sowie diejenigen hellerer und dunklerer Tönung herauszusuchen. Aus den hierbei gemachten Fehlern wurden die entsprechenden Schlüsse auf das Verhalten des Farbensinns gezogen.

Die Pigmentproben. Zur Untersuchung des Farbensinns mittels der gewöhnlichen Pigmentfarben im auffallenden Licht steht uns eine ganze Reihe älterer und neuerer Prüfungsmethoden zur Verfügung. Während die älteren sich nur auf Benennungen verschiedenfarbiger Eindrücke (Nennproben) gründen, beruhen die neueren größtenteils auf der Erkennung bunter auf Papier oder Karton gedruckter Buchstaben, Zahlen oder Figuren inmitten eines andersfarbigen Untergrundes oder in der Nachbarschaft andersfarbiger Figuren. Die Farbtöne der zu erkennenden Buchstaben usw. sind derartige, daß sie mit denjenigen des Untergrundes oder der Nachbarschaft Verwechslungsfarben für den Farbenuntüchtigen darstellen. Werden die Figuren usw. in ihrer Bedeutung bzw. ihrem Farbenunterschied nicht erkannt, also mit den Farbtönen des Untergrundes oder der Nachbarschaft verwechselt, so liegt Farbenuntüchtigkeit vor. Die Zusammen- und Nebeneinanderstellung der Farbtöne ist vielfach so

gewählt, daß aus der Les- bzw. Erkennbarkeit der einen, dem Nichterkennen der anderen Farbenzusammenstellung auch Rückschlüsse auf die Art der jeweils vorliegenden Farbensinnstörung gezogen werden können.

Die Wollproben. Eine der ältesten und bis heute noch viel gebräuchliche Pigmentprobe ist die sogenannte „Wollprobe" nach Holmgren, dem bereits genannten schwedischen Physiologen. Aus einer größeren Zahl verschiedenfarbiger, in möglichst vielen Helligkeiten abgestufter und auf einer schwarzen Unterlage ungeordnet ausgebreiteter, etwa einen Finger dicker und zwei Finger langer Wollbündel wird eine bestimmte Farbe herausgelegt und der zu Untersuchende aufgefordert, alle ihm gleichfarbig erscheinenden Wollen zu der vorgelegten Farbenprobe herauszusuchen. Natürlich wird der Normalsehende zu der hellen, rein grünen Probefarbe, mit welcher nach der Vorschrift Holmgrens dieses Untersuchungsverfahren stets begonnen werden soll, immer nur grüne Wollbündel, einerlei ob von hellerer oder dunklerer Schattierung, aus der großen Menge der verschiedenfarbigen Wollproben heraussuchen. Und wenn er vielleicht auch in der Weise Fehler begeht, daß er die der Probefarbe völlig gleichenden Wollenbündel nicht schnell und sicher von den anderen im Wollsortiment vorhandenen grünen Farbtönen unterscheidet, so wird er doch immer nur ein helleres oder dunkleres Grün zu Grün legen, niemals aber eine andere Farbe, wie etwa Rosa oder Grau u. dgl. als gleichfarbig zu dem vorgelegten grünen Wollbündel heraussuchen. Der Dichromat dagegen nimmt ohne weitere Umstände auch andersfarbige Wollbündel, die ihm als gleichfarbig und übereinstimmend mit dem grünen Wollbündel erscheinen, und bezeichnet z. B. graue, graubraune, fleischfarben-rötliche, hellgelbe Wollen als völlig gleich mit dem Probebündel, auch wenn er sie unmittelbar nebeneinanderlegt. Bei der zweiten Probe nimmt man als Probebündel ein solches von purpurner oder rosa (hellpurpur) Farbe. Der Dichromat legt blaue und veile oder graue und blaugrüne Bündel dazu. Die Wahl der ersteren Töne spricht für Protanopie, die der letzteren für Deuteranopie. Das Bestehen der zweiten (Purpur-Rosa-)Probe bei Nichtbestehen der Grünprobe deutet auf Farbenschwäche. Ob Blau und Blaugrün, Blau und Veil nicht scharf auseinandergehalten werden, ist ohne Bedeutung.

Ein ähnliches Verfahren wandte der norwegische Arzt Daae an, indem er verschiedenbunte Wollfäden in bestimmter Anordnung auf einer Papptafel in Oktavformat in Gestalt von 1 qcm großen Vierecken reihenweise nebeneinander anbrachte. Die Reihen enthalten teils Farben gleicher Art in verschiedenen Lichtstärken, teils Farben ungleicher Art. Der Prüfling muß die gleichbunten von den ungleichbunten Reihen unterscheiden und zu einer gezeigten Farbe, z. B. Rot, Grün, Gelb usw. alle ähnlichen Farben, d. h. die helleren und dunkleren desselben Tons richtig bezeichnen. Immerhin setzt diese Probe den Prüfling nicht so bequem instand, die Verwechslungsfarben nach freier Wahl zusammenzustellen, wie ihm dies die Holmgrensche Methode mit ihren losen Wollbündeln ermöglicht. Übrigens gehen beide, sowohl das Holmgrensche wie das Daaesche Verfahren auf eine ähnliche Methode des Berliner Augenarztes Seebeck zurück, der überhaupt, und zwar schon in den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts als erster bunte Gegenstände im Vergleichswege zur Erkennung der Farbenuntüchtigkeit systematisch und erfolgreich verwandte.

So gute Ergebnisse sich mit der Holmgrenschen Wollprobe erzielen ließen, wenn sie nach den Vorschriften des Erfinders und mit der allerdings bei allen, auch den primitivsten Farbensinnprüfungen notwendigen Geduld und Behutsamkeit ausgeführt wurde, so wenig konnte ihr Ruf aufrechterhalten bleiben, nachdem sich infolge der zunehmenden Kenntnisse über das Wesen der Farbensinnstörungen und der verbesserten Methoden ihres Nachweises die Beobachtungen mehrten, daß auf Grund ihres jeweiligen Ausfalls vielfach Farbenuntüchtige als farbentüchtig und umgekehrt durchaus Farbentüchtige als farbenuntüchtig erscheinen mußten. Als ein weiterer Nachteil wurde erkannt, daß sie die Mehrzahl der farbenschwachen Anomalen, auf deren Erkennung der größte Wert gelegt werden muß, überhaupt nicht zu ermitteln vermochte, und so mußte sie trotz ihrer Vorzüge als selbständige Methode, die in allen Fällen zum Ziele führt, verworfen werden.

Die Tafelproben. An ihre Stelle traten die beiden zurzeit am weitesten verbreiteten, ebenfalls bequem zu handhabenden und wohlfeilen Tafelproben nach Stilling und Nagel, ohne allerdings trotz ihrer vielfach erprobten, bedeutend größeren Zuverlässigkeit und

Sicherheit, die sogar zu ihrer obligatorischen Einführung bei den Behörden der Eisenbahn und der Kriegsmarine Anlaß gegeben haben, die in sie gesetzten Erwartungen vollauf zu befriedigen. Beide beruhen ebenfalls auf dem Prinzip der Verwechslungsfarben, indem sie Farbentüpfel auf weißem Papier anwenden, die dem Farbenuntüchtigen gleichfarbig erscheinen, es in Wirklichkeit aber nicht sind.

Bei den bereits in der 15. Auflage erschienenen Stilling schen Pseudo-isochromatischen Tafeln sind auf einer Reihe von in Buchform angeordneten Tafeln je zwei Verwechslungsfarben von verschiedenen Helligkeitsabstufungen in Gestalt von Punkten und Tüpfeln derart angeordnet, daß eine der beiden Farben eine Zahl auf dem Grunde der anderen Farbe zeigt. Infolgedessen ist der Farbenuntüchtige nicht imstande, die verschiedenbunten Tüpfel voneinander zu unterscheiden und die Zahlen richtig zu entziffern. So zweckmäßig und brauchbar im allgemeinen diese Tafeln sind, so geben doch auch sie nicht selten zu Fehlschlüssen Veranlassung, indem einzelne Tafeln selbst für den intelligenten Farbentüchtigen viel zu schwer zu entziffern sind und die Verwechslungsmöglichkeit der einzelnen einander sehr ähnelnden Zahlen oft zu unsicheren und widersprechenden Feststellungen führt. Ferner ist es kein Vorteil, daß auf jeder Tafel nur zwei verschiedene und zum Teil recht ähnliche Farben zusammengebracht sind und daß die absolut schematischen und nicht die geringste Denkarbeit erfordernden Tafeln jede Mannigfaltigkeit vermissen lassen. Es kann daher auch die Stilling sche Probe trotz ihrer Vorzüge nicht als unbedingt sicher und zuverlässig angesprochen werden, und gerade in letzter Zeit haben sich die Berichte vermehrt über Fälle, wo trotz Nichtbestehens derselben am Anomaloskop Farbentüchtigkeit nachgewiesen werden konnte.

Noch weniger haben die Nagel schen Tafeln zur Untersuchung des Farbenunterscheidungsvermögens das eine Zeitlang in sie gesetzte Vertrauen auf ihre absolute Zuverlässigkeit auf die Dauer gerechtfertigt. Die Prüfung geschieht hier mittels 20 Täfelchen, von denen jedes auf weißem Grund eine Anzahl teils einfarbiger, aber verschieden heller, teils mehrfarbiger, aber gleichheller, kreisförmig angeordneter Punkte von gleicher Größe enthält. Die einfarbigen Kreise werden von Farbenuntüchtigen für verschiedenfarbig, die verschiedenfarbigen für einfarbig gehalten, weil als Farben

Verwechslungsfarben gewählt sind. Außerdem verwerten die Täfelchen zur gesonderten Erkennung der Farbensinnschwäche die gesteigerte Farbenkontrastwirkung. Gegen die Nagelschen Tafeln wird eingewandt, daß sie zu viel Vorkenntnisse seitens des Untersuchers erfordern, daß sie ihrer Feinheit halber zu sehr eine Intelligenzprüfung darstellen und daher leicht zu viel Farbenuntüchtige herausfinden lassen, daß sie Farbenbenennungen erfordern, daß sie umständlich und unbequem in der Handhabung sind und endlich, daß sie der persönlichen Auffassung des Untersuchers zu viel Spielraum lassen und daher bei demselben Prüfling entgegengesetzte Resultate zeitigen können. In der Tat müßte dieser Umstand allein schon genügen, von der ausschließlichen Anwendung der Nagelschen Methode abzusehen und sie nur als Kontrollprobe mitzuverwenden.

Als weitere Probe sei das Cohnsche Täfelchen zur Prüfung des feinen Farbensinnes erwähnt. Es stellt gleichkleine schwarze E-förmige Haken in verschiedener Anordnung auf purpurveilem Grunde dar, die von dem Farbenuntüchtigen nicht mehr erkannt werden, sobald sie durch ein über das Täfelchen gelegtes dünnes Florpapier betrachtet werden, wozu der Farbentüchtige regelmäßig imstande ist. Während von manchen Beurteilern die Cohn sche Probe für nichts anderes als eine auf dem Prinzip der Verwechslungsfarben beruhende, der Stillingschen ähnliche, aber besonders schwer lesbare pseudoisochromatische Tafel angesehen wird, deren mangelhafte Konstruktion durch das aufzulegende Florpapier verdeckt ist, erklären andere ihre Wirkung durch die Erscheinung des normalen Farbenkontrastes, der bei den Dichromaten sowie den Farbenschwachen, zumal denen mittleren Grades, infolge der Florkontrastanordnung (ungesättigte Farben mit unscharfen Grenzen) aufgehoben sei. Zwar mag zutreffen, daß, wer die Stellung der Häkchen richtig erkennt, farbentüchtig ist, nicht aber der umgekehrte Satz, daß, wer die Täfelchen nicht entziffert, wirklich farbenuntüchtig ist. Es muß also ein negatives Resultat dieser sonst recht einfach und schnell zu handhabenden Probe stets durch eine andere sicherere Methode nachkontrolliert werden. Überhaupt sind sich darin sämtliche Beurteiler einig, daß man wegen der Unvollkommenheiten der zurzeit gebräuchlichen Pigmentproben Zweifel und Irrtümer nur dadurch vermeiden kann, daß man sich nicht auf den Ausfall einer Probe allein verläßt, sondern solange die endgültige Ent-

scheidung von dem einhelligen Ergebnis verschiedener Proben — unter eventueller Kontrollprüfung mit dem Anomaloskop — abhängig macht, als es noch an einer allseitig befriedigenden und zuverlässige Ergebnisse zeitigenden Pigmentprobe fehlt.

Um der Notwendigkeit überhoben zu sein, für ein einigermaßen sicheres Prüfungsergebnis stets mehrere der soeben genannten Pigmentproben in Anwendung ziehen zu müssen, hat es sich der Verfasser angelegen sein lassen, ein Prüfungsmittel zu bieten, das unter Anlehnung an die bewährten Prinzipien der Verwendung von Verwechslungsfarben die Vorzüge der Methoden nach Stilling, Nagel und Cohn zu vereinigen, ihre Nachteile und Mängel aber zu vermeiden sucht, um einerseits diejenigen Farbenuntüchtigen herauszufinden, die bei den bisherigen Proben unerkannt durchschlüpften, andererseits die Farbentüchtigkeit derjenigen festzustellen, die mit den anderen Proben fälschlich als farbenuntüchtig befunden wurden. Es handelt sich bei diesen „Wandtafeln zur Prüfung des Farbensinns und zur Erkennung der Farbensinnstörungen", wie bei Stilling, um eine Leseprobe, bei der in der Form eines an der Wand aufhängbaren, aus acht Tafeln in Quartformat bestehenden Atlasses 24 verschiedene Wortbilder in lateinischen Buchstaben das Prüfungsmaterial bilden. Dabei ist eine neue Ausnutzung der Helligkeitsunterschiede sonst gleichartiger Farbentöne in der Weise angestrebt worden, daß die Verschiedenheiten der Helligkeitsgrade ein und derselben Farbe gegen die Verschiedenheit von Farbtönen ein und derselben Helligkeit ausgespielt werden. Zu diesem Zweck sind die Buchstaben so zu Worten zusammengestellt, daß in einem Wortbild neben einem Wort in einem bestimmten Farbton von verschiedener Helligkeit sich ein zweites Wort von einem bestimmten Helligkeitsgrad in mehreren verschiedenen Farben verbirgt. Der Farbentüchtige wird nun ohne Schwierigkeit auf entsprechende Aufforderung aus dem Wortbild das einfarbige Wort auf Grund der vorwiegenden Farbenqualität herausbuchstabieren, während der Farbenuntüchtige auf Grund der bei ihm vorherrschenden Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede nur das zwar gleich helle bzw. dunkle, aber verschiedenfarbige Wort herauszufinden imstande ist, das er als einfarbig bezeichnen wird, da ihm infolge seines mangelhaften Farbensinns die Einfarbigkeit des wirklich einfarbigen, z. B.

grünen oder roten Wortes verborgen bleibt. Hiernach ist farbentüchtig, wer die Buchstaben bzw. Worte in ein und derselben Grundfarbe (grün oder rötlich) richtig entziffert und als einfarbig entsprechend dem gezeigten Farbstreifen am oberen oder unteren Rande der Tafel erkennt; dahingegen farbenuntüchtig, wer nur die verschiedenbunten, aber als dunkel auf hellem Grunde für jeden, also auch den Farbenuntüchtigen erkennbaren Mischworte liest. Auf einigen anderen Tafeln sind je drei Verwechslungsfarben in der Weise zur Anwendung gekommen, daß sich in einem zweifarbigen Wortbild oder in einer zweifarbigen Buchstabenreihe auf gemeinsamem andersfarbigen Untergrund ein einfarbiges Wort verbirgt, welches der Farbentüchtige auf Aufforderung leicht herausfindet, während es dem Farbenuntüchtigen wiederum verborgen bleibt. Da es sich herausgestellt hat, daß eine genaue Feststellung der Art der Farbensinnstörung und ihrer Zugehörigkeit zu einer bestimmten Form mit den bisherigen Pigmentproben nicht sicher zu erreichen und in praktischer Hinsicht auch ohne besonderen Wert ist, so verzichtet diese neue Methode von vornherein darauf und behält sie ein für allemal der Prüfung mit dem Anomaloskop vor. Unerläßlich ist die genaue Beachtung der den Tafeln vorgedruckten Erläuterungen, insbesondere darf die Prüfung nur mittels langsamen Buchstabierenlassens vorgenommen werden.

Eine ebenfalls erst vor wenigen Jahren empfohlene und auf dem Prinzip der Farbengleichung beruhende Methode stellen Helmbolds drehbare Farbenscheiben zur Prüfung des Farbensinnes dar. An dem Rand zweier weißer, nebeneinanderstehender und um ihren Mittelpunkt drehbarer Scheiben sind eine Anzahl (59) in den Verwechslungsfarben gehaltener kleiner Kreisflächen von 0,5 mm Durchmesser angebracht, ähnlich wie bei den Nageltafeln. Durch eine weiße Klappe mit zwei runden Öffnungen sind die beiden Scheiben so verdeckt, daß in jeder Öffnung nur eine der kleinen bunten Kreisflächen sichtbar ist. Es wird eine bestimmte Farbe eingestellt und die zweite Scheibe gedreht, wobei der Untersuchte anzugeben hat, ob beide Farben gleich oder ungleich sind. Zur Abgabe eines Urteils über die praktische Brauchbarkeit und Verläßlichkeit dieses Prüfungsmittels liegen zurzeit noch zu wenig Veröffentlichungen vor.

Während ein Teil der Nagelschen Tafeln ebenso wie eine besondere Einstellung an seinem Farbengleichungsapparat (Rot : Gelb) den gesteigerten Farbenkontrast (Simultankontrast) zur Erkennung der Farbensinnschwäche nicht ohne Erfolg verwertet, sind einigen älteren Tafelproben die Erscheinungen des normalen Farbenkontrastes zugrunde gelegt. Legt man z. B. auf einen bunten roten Papierbogen ein Stück graues Papier, etwa in Form eines Ringes, und betrachtet diesen durch ein über das Ganze gelegtes Florpapier, so erscheint dem Normalen der graue Papierring jedesmal in der Kontrastfarbe des bunten Bogens, in diesem Falle also grün (Florpapierkontrast). Beim Dichromaten bleibt diese Kontrasterscheinung regelmäßig aus, beim Farbenschwachen ist sie herabgesetzt, weil bei ihm die starke Sättigungsabnahme, welche die kontrasterregende Farbe infolge des darübergelegten Florpapiers erleidet, die Entstehung des Kontrastes erschwert. In ähnlicher Weise läßt sich auch eine Prüfung auf bunte Nachbilder (Sukzessivkontrast) anstellen.

Bei der in Buchform gegebenen Probe nach Pflüger werden schwarze und graue, auf buntem Grunde gedruckte Buchstaben von verschiedener Größe mit einem oder mehreren Seidenpapierfloren bedeckt. Sie sind dann für den Farbentüchtigen in einer mit dem Grunde komplementären Färbung sichtbar und — wenigstens teilweise — lesbar. Für den farbenuntüchtigen Dichromat ist ein großer Teil der Zeichen weder lesbar, noch überhaupt sichtbar. Dahingegen kann die Probe von vielen Farbenschwachen glatt bestanden werden. Indes ist sie nicht ungeeignet zur Entlarvung von Simulanten. Übrigens wird ihre praktische Brauchbarkeit durch die verschiedene Dicke und Durchsichtigkeit des Florpapiers stark beeinträchtigt, was auch für das Cohnsche Täfelchen gilt.

Herings Farbenmischapparat. Dieses Prüfungsmittel zur Untersuchung des Farbensinns beruht auf der Benutzung unbelegter Spiegel und bunter Glasplatten. Die Regulierung der Lichtstärke, mit der die einzelnen Komponenten in die Mischung eingehen, wird dadurch erreicht, daß weiße, diffuses Tageslicht zurückwerfende Glasplatten in wechselndem Winkel gegen das einfallende Licht gestellt werden können und so veränderliche Lichtmengen zurückwerfen. Im Gesichtsfelde befinden sich zwei Abteilungen, deren eine mit einem

grünen, in der Stärke veränderlichen Lichte erfüllt erscheint, während in der anderen sich sowohl der Stärke nach die Beleuchtung als auch die Mengenverhältnisse eines roten und blauen Lichtgemisches ändern lassen.

Die Nagel-Köllnersche Farbengleichungslampe. Nach ähnlichen Grundsätzen wie das Anomaloskop ist der gleichfalls von Nagel angegebene Farbengleichungsapparat konstruiert, in welchem dem Prüfling zwei kleine halbkreisförmig nebeneinander angeordnete, durch einen Steg getrennte, aus gefärbten Gläsern bestehende und von einem Gasbrenner beleuchtete Lichter, z. B. ein rotes und ein gelbes, gezeigt werden, die jedes in seiner Helligkeit fein abgestuft werden können. Jeder Dichromat wird durch Änderung der Helligkeit des gelben Feldes eine Farbengleichung mit dem roten erreichen, während der Normale und der Farbenschwache niemals eine Gleichung zwischen Gelb und Rot bekommen kann, der letztere aber das Gelb neben Rot infolge des gesteigerten Farbenkontrastes als Grün bezeichnet. Protanope (einschließlich der Protanomalen) und Deuteranope unterscheiden sich durch verschiedene für sie charakteristische Einstellungen der Helligkeitsgleichungen. Übrigens hat sich der Apparat, der, wie man sieht, ebenfalls mit Pigmentfarben, und zwar in durchfallendem Lichte arbeitet, trotz gewisser Vorzüge nicht als so brauchbar erwiesen, wie man es ursprünglich erwartet hatte und wird heute nur noch wenig benutzt. Indes hat er durch einige Änderungen, die er von Köllner (Nagel-Köllnersche Farbengleichungslampe) und später noch von Vierling (Ersatz der bunten Gläser durch bunte Gelatinefolien) erfuhr und die ihn auch für die Erkennung der Farbenschwäche geeigneter machten, eine wesentliche Verbesserung seiner Brauchbarkeit erfahren. In seiner jetzigen Gestalt kann er als ein nicht zu unvollkommener Ersatz für einen Spektralapparat gelten und leistet in sachverständiger Hand jedenfalls dasselbe, wenn nicht mehr als die besten sonst gebräuchlichen Pigmentproben in auffallendem Licht. Allerdings ist seine Handlichkeit ebenfalls dadurch beeinträchtigt, daß er an eine künstliche Lichtquelle (elektrisches Licht, Auergaslicht) angeschlossen werden muß.

Chromotestor nach Hegner und Löwe. Vor wenigen Jahren ist von Hegner und Löwe ein kleiner Pigment-Farbenmischapparat konstruiert und unter dem Namen Chromotestor für Farbensinnprüfungen empfohlen, der unter Verwendung gelb-, rot- und grünfarbiger Glasscheiben als Farbenfilter die gleichen Einstellungen wie das Anomaloskop ermöglicht und um so leichter zu handhaben ist, als ein unmittelbarer Anschluß an eine besondere Lichtquelle nicht notwendig ist. Zur Abgabe eines endgültigen Urteils über die Ergebnisse und den praktischen Wert der mit diesem Apparat gewonnenen Untersuchungen liegen zurzeit noch zu wenige Veröffentlichungen vor.

Ältere Prüfungsmittel. Die früher vielfach angewandten Prüfungen mit bunten Gläsern und Lichtern (Dreilichterapparat) in Form der sogenannten Laternenproben, sowie alle übrigen, lediglich auf Benennung der gebotenen Farben sich gründenden Methoden (Farbentafeln nach Snellen, Donders, Radde), bunte Pulver oder Lösungen, bunte Stifte (nach Adler), die Methoden der „farbigen Schatten", bei denen es sich um die Erkennung und Benennung der Kontrastfarbe handelt, die der Schatten eines von einem bunten Licht beleuchteten kleinen Gegenstandes hervorruft, sind mit Recht heute allgemein verlassen und haben den auf dem Prinzip der Farbenvergleichung beruhenden Tafelproben Platz gemacht. Dasselbe gilt von dem Prüfungsverfahren mit dem Maxwellschen Farbenkreisel, das darin besteht, daß auf dem Farbenkreisel zwei Farben zur Anschauung gebracht werden, welche der Prüfling vergleichen muß und deren Farbton, Sättigungsgrad und Lichtintensität nach Belieben soweit geändert werden kann, bis zwischen beiden Farben durchaus kein Unterschied mehr empfunden wird. Aus der Unähnlichkeit beider Farben, die das normale Auge wahrnimmt, schließt man auf den Farbensinn des Untersuchten. Wir erfahren durch sie mit Bestimmtheit, wie der Betreffende die miteinander verglichenen Farben sieht. Trotz der Zuverlässigkeit der Methode eignet sie sich nicht zum praktischen Gebrauch, weil die jeweilige Herstellung der Farben- und Helligkeitsgleichungen viel zu viel Zeit erfordert und für den Untersuchenden sehr unbequem und ermüdend ist.

Wert und Grenzen der Spektralproben. Daß übrigens die Leistungsfähigkeit der Spektralapparate auch ihre Grenzen hat und eine allein mit Spektrallichtern angestellte Prüfung des Farbensinnes für praktische Zwecke nur unvollkommene Ergebnisse liefern würde, geht schon daraus hervor, daß die sekundären Merkmale der Farbenschwachen nicht selten in Fällen nachweisbar sind, die keine oder nur höchst geringe Abweichungen vom Verhalten des Normalen der Rayleighgleichung gegenüber erkennen lassen und bei denen wir daher zur Feststellung dieser sekundären Merkmale auf die Anwendung von Pigmentproben angewiesen sind. Da aber die Beeinträchtigung des Farbensehens durch diese Merkmale trotz normalen Verhaltens spektralen Lichtern gegenüber gleichbedeutend mit Farbenuntüchtigkeit im praktischen Sinne sein kann, so leuchtet der große Wert zuverlässiger Pigmentproben als selbständiges Prüfungsmittel, zumal der isolierten Farbensinnschwäche, ohne weiteres ein. Denn die von manchen Beurteilern verlangte Unterteilung in drei Gattungen der Farbensinnschwäche, nämlich in

1. typische Anomalien, d. h. anomale Rayleighgleichung mit ausgesprochenen sekundären Merkmalen;
2. rein spektrale Anomalien, d. h. anomale Rayleighgleichung ohne sekundäre Merkmale;
3. Farbenschwäche, d. h. Vorliegen sekundärer Merkmale bei normaler Rayleighgleichung

kann vorläufig nur unter ihrer Mitwirkung geschehen, trotzdem die erste Gruppe der farbenschwachen Anomalien die weitaus überwiegende Mehrzahl der Fälle umfaßt und die behauptete Unterschiedlichkeit möglicherweise nur eine scheinbare ist, indem unsere derzeitigen Prüfungsmittel noch zu unvollkommen sind, um die anscheinend fehlenden Symptome der spektralen Anomalie bzw. der Farbenschwäche aufzudecken.

Schließlich machen diese Erörterungen die Schwierigkeiten in der Beantwortung der Frage erklärlich, ob derartige, vielfach auf der Grenze des normalen Farbensehens stehende Fälle im praktischen Sinne schon als farbenuntüchtig oder noch als farbentüchtig zu beurteilen sind. Unter Berücksichtigung dieser Unsicherheiten, die natürlich nicht selten zu einander widersprechenden Urteilen führen können, wird man vorläufig gut tun, sowohl rein Anomale der zweiten, als auch

Farbenschwache der dritten Gattung, je nach dem überwiegenden Ausfall der Kontrollproben, wenn nicht zu den Farbenuntüchtigen, so doch zu den Zweifelhaften zu zählen und sie dementsprechend unter Würdigung ihrer besonderen beruflichen Verhältnisse zu begutachten.

Da der totalen Farbenblindheit schon ihrer großen Seltenheit halber eine besondere praktische Bedeutung nicht zukommt und sie überdies mit den genannten Methoden leicht zu erkennen und den damit Behafteten meist bekannt ist, braucht ihr Verhalten den einzelnen Farbensinnprüfungen gegenüber nicht besonders erörtert zu werden.

Die Vornahme von Farbensinnprüfungen ist ärztliche Angelegenheit. Es liegt auf der Hand, daß Farbensinnprüfungen, welcher Methode man sich auch bedienen möge, nur denjenigen anvertraut werden dürfen, welche hierzu vollkommen befähigt und selbst farbentüchtig sind. Im Hinblick auf die für die Beurteilung der Prüfungsergebnisse notwendigen physiologischen Vorkenntnisse über die Theorien des normalen und des regelwidrigen Farbensehens kommen hierfür wohl ausschließlich Ärzte in Betracht, die sich eine besondere Vertrautheit mit den verschiedenen Untersuchungsmethoden erworben haben. Diese Forderung muß um so nachdrücklicher erhoben werden, weil zur verantwortlichen Feststellung der Farbentüchtigkeit bzw. Farbenuntüchtigkeit der unanfechtbare und gleichmäßige Ausfall mehrerer, mindestens aber zweier der genannten Pigmentproben (z. B. von Stilling, Nagel oder Cohn und Podestà) gefordert werden muß. Sind die Resultate nicht absolut eindeutig im positiven oder negativen Sinne oder widersprechen sich gar, so ist neben den Pigmentproben als ausschlaggebend die Prüfung mit dem Nagelschen Anomaloskop heranzuziehen. Mit den Untersuchungen solcher meist schwierigen und mit besonderer Vorsicht zu begutachtenden Fälle wird man sogar spezialistisch vorgebildete Ärzte betrauen müssen, wenn es sich um die Beurteilung solcher Personen handelt, die sich in den Dienst des Eisenbahn- oder Schiffsverkehrs stellen wollen oder bereits stehen und die durch den Ausfall der Prüfung eine Beeinflussung ihrer bisherigen ökonomischen und sozialen Lage zu gewärtigen haben, oder wenn es sich um die Frage der Feststellung beruflicher Verantwortlichkeit handelt. Schließlich wird die spezialistische Begutachtung selbstverständlich in allen den Fällen notwendig, in denen das Vorliegen einer erworbenen

Farbensinnstörung zu bestätigen oder auszuschließen ist. Nur unter ganz besonderen Bedingungen wird man sich dazu entschließen dürfen, ohne ärztliche Mitwirkung eine Beurteilung des Farbensinns zuzulassen, nämlich, wenn eine Entscheidung dringlich und ärztliche Mitwirkung nicht sobald zu erreichen ist. Derartige Notwendigkeiten werden auf See gelegentlich da eintreten können, wo Mißgriffe infolge falscher Signalgebung und -erkennung den Verdacht auf das Vorliegen eines mangelhaften Farbensinns wachrufen mußten und eine sofortige, wenn auch nur vorläufige Feststellung zur Verhinderung weiterer Mißgriffe erforderlich wird. Es ist daher nur ein Gebot der Vorsicht und Fürsorge für die Sicherheit des Schiffsverkehrs, das für die Führung verantwortliche Personal mit den Gefahren bekannt zu machen, die dem Schiffsverkehr aus dem mangelhaften Farbenerkennungs- und -unterscheidungsvermögen erwachsen können und sie für dringliche Fälle mit dem Gebrauch der bewährtesten Prüfungsmittel in Gestalt der Tafelproben vertraut zu machen. Selbstverständlich darf eine in solchen Fällen vorgenommene Prüfung stets nur vorläufige Geltung haben.

Simulation und Dissimulation von Farbensinnstörungen. Besondere Vorsicht und ein großes Maß spezialistischer Vorkenntnisse erfordert auch die Feststellung sowohl der Vortäuschung einer nicht bestehenden Farbensinnstörung (Simulation), als auch diejenige eines gesunden Farbensinnes, also des Verbergens einer tatsächlich vorhandenen Farbensinnstörung (Dissimulation), die bei den im Eisenbahn- und Seeverkehrsdienst Stehenden nicht selten zur Begutachtung kommen. Denn es ist nicht nur für den farbentüchtigen Untersucher an und für sich schon sehr schwer, sich in die Sehweise des Farbenuntüchtigen hineinzudenken, sondern die Schwierigkeiten steigern sich noch, wenn der Simulant sich über die Fehler, die der Farbenuntüchtige bei den einzelnen Proben zu machen pflegt, gut unterrichtet hat und geschickt genug ist, die Simulation konsequent durchzuführen.

Anhang.

Sechzehntes Kapitel.

Die Gesundheitspflege des Auges.

Allgemeines über die Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit des Sehorgans. Die Darstellung des Baues und der Funktion des Auges wäre unvollständig, wenn sie nicht von einer kurzen Erörterung der besten Bedingungen begleitet wäre, unter denen dieses wichtige Sinnesorgan seine Tätigkeit am vorteilhaftesten ausüben kann, noch die Anforderungen erwähnte, die der Erhaltung seiner höchsten Leistungsfähigkeit am meisten entsprechen.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß das Auge allen möglichen, von außen wirkenden Schädigungen in besonders hohem Maße ausgesetzt ist, wenn man sich seine oberflächliche Lage, seinen feinen und verwickelten Bau, sowie seine ununterbrochene Gebrauchsbereitschaft vergegenwärtigt. Seine Leistungsfähigkeit wird aber nicht nur durch von außen, sondern auch von innen wirkende und vom Gesundheitszustande vieler anderer körperlichen Organe abhängige Ursachen vielfach beeinflußt und es ist auch in weiteren Volkskreisen nicht unbekannt, wie häufig an den Augen auftretende Veränderungen die Erkennung innerer, anscheinend mit dem Auge gar nicht direkt zusammenhängender Leiden ermöglichen. Neben den körperlichen wirken auch die seelischen Zustände in mannigfacher Weise auf die Funktion des Auges zurück, wie es das Wort vom Auge als „Spiegel der Seele“ treffend wiedergibt. In aller Munde sind die auf derartige Zusammenhänge und Wechselwirkungen hindeutenden Ausdrücke vom „brechenden“ Blick des Sterbenden, vom „trüben“ und „schwachen“ Blick des Leidenden, vom „starren“ Blick des Erschrockenen oder Hilflosen, vom „scheuen“ Blick des Verbrechers u. a. m.

Die Schädigungen des Auges durch Blendung. Da sich die Richtlinien für die Pflege des Auges, die Fernhaltung von Schädlichkeiten und die Erhaltung seiner höchsten Leistungsfähigkeit aus der Kenntnis

der Vorbeugungs- und Verhütungsmaßnahmen ergeben, so ist es eine der Hauptaufgaben der Gesundheitspflege des Auges, für deren möglichst weite und allgemeine Verbreitung zu sorgen. Eine der wichtigsten Seiten dieser Aufgabe bezieht sich auf den Schutz vor unzweckmäßigem Gebrauch der Augen, wie er durch die Wirkung zu starker Belichtung, die das Maß der dem Auge gewohnten und zuträglichen Lichtmenge übersteigt, zustande kommen kann. Zwar ist das für Lichtreize verschiedenster Stärke äußerst empfindliche Auge bekanntlich in hohem Maße befähigt, sich der Menge des in das Augeninnere eindringenden Lichtes anzupassen, ohne Schädigungen zu erleiden, wenn nur der Übergang in die Helligkeit sich langsam genug vollzieht, doch hat diese Anpassung ihre Grenzen, die ohne Schaden nicht überschritten werden dürfen. Ist diese Grenze erreicht, so sprechen wir von einer Blendung des Auges. Das Maß der Blendung ist verschieden und hängt nicht nur von der Menge und Stärke des eingedrungenen Lichtes, sondern auch von der Schnelligkeit des Überganges in die Helligkeit ab. Schon ein plötzlicher Übergang vom Dunkeln in das helle Tageslicht ruft eine unangenehme, ja schmerzhafte Empfindung im Auge hervor, die als Blendungsschmerz bezeichnet wird. Die Störungen, die ein rascher und ununterbrochener Wechsel von Hell und Dunkel hervorruft, empfinden wir z. B. schon unangenehm, wenn wir bei niedrigstehender Sonne an einem von ihr beschienenen Holzgitter mit gleichmäßig engen Zwischenräumen vorbeigehen, welches sich zwischen uns und der Sonne befindet. Die rasch aufeinanderfolgenden Kontraste von Hell und Dunkel rufen durch den steten Wechsel der Pupillenweite einen starken Reizzustand der Pupillenmuskeln und der von den wechselnden Lichteindrücken getroffenen Netzhaut hervor.

Die Blendung durch Sonnenlicht. Bekanntermaßen ist das direkte Sonnenlicht in hervorragender Weise imstande, schwere und dauernde Schädigungen des Sehvermögens hervorzurufen und ein instinktives Gefühl läßt uns den Blick in die Lichtquelle des Tageslichtes, die Sonne, möglichst vermeiden. Wenn es jedoch, wie bei Kindern, gelegentlich infolge von Unbedachtsamkeit und mangelnder Aufsicht oder beim Beobachten einer Sonnenfinsternis unter unzureichendem Schutz der Augen zu einer genügend langen, direkten

Einwirkung der Sonnenstrahlen kommt, so entstehen je nach der Dauer und Stärke der Einwirkung mehr oder weniger schwere Schädigungen der Netzhautmitte, die in einer Herabsetzung, ja gänzlichen Aufhebung des Sehvermögens an dieser für das Sehen wichtigsten Stelle bestehen können. Das betroffene Auge sieht dann unter Umständen zeitlebens einen dunklen Fleck in der Mitte des Gesichtsfeldes, wenn nicht sogar ein vollkommener Verlust des Sehvermögens eintritt. Es ist daher notwendig, in den Schulen und durch die Zeitungen bei den Ankündigungen einer Sonnenfinsternis rechtzeitig vor den großen Gefahren der Blendung zu warnen, die infolge des unbedachten Hineinschauens in die Sonne dem Sehvermögen drohen, zumal es sehr leicht ist, sich dagegen zu schützen. Es genügt dazu eine durch Kerzenlicht berußte Glasplatte vor das Auge zu halten oder möglichst dunkelgefärbte Schutzbrillen zu benutzen.

Es ist wenig bekannt, daß das direkte Sonnenlicht auch durch die geschlossenen Augenlider hindurch seine schädliche Wirkung zu entfalten imstande ist, zumal wenn sie, wie beim neugeborenen Kinde, infolge ihrer Zartheit noch ziemlich durchsichtig sind. Zur Vermeidung solcher Blendungen muß daher bei der Lagerung der Kinder, z. B. in den Kinderwagen, durch Anbringen geeigneter dunkler Vorhänge dafür gesorgt werden, daß die Sonnenstrahlen nicht direkt das Auge treffen. Damit soll aber keineswegs der im Volke noch vielfach vertretenen, doch durchaus irrigen Meinung beigepflichtet werden, die Neugeborenen müßten überhaupt möglichst dauernd in einem verdunkelten Raume gehalten werden, um sie vor Augenschädigungen zu bewahren.

Die Blendung durch das Licht des Blitzes. Auch durch das Licht des Blitzes können gelegentlich Blendungserscheinungen hervorgerufen werden, am häufigsten durch das Licht in der Nacht aufleuchtender Blitze, wo die weitgeöffnete Pupille die Lichtmenge nicht schnell genug zu regulieren imstande ist. Außerdem kann durch die direkte Blitzwirkung die Linse so stark geschädigt werden, daß grauer Star, d. h. eine Trübung der Linse die Folge sein kann.

Die Blendung durch elektrisches Licht. Eine ähnliche Erscheinung ist die elektrische Augenentzündung, die durch die

Einwirkung allzu hellen elektrischen Lichtes infolge unvorsichtigen oder unvermeidbaren Hineinblickens in eine künstliche elektrische Lichtquelle entsteht, wie es z. B. beim Regulieren der Lampen, beim Kurzschluß hochgespannter elektrischer Ströme, beim elektrischen Metallschmelzen und -schweißen, bei Beleuchtungsversuchen ohne genügenden Schutz und unter Nichtachtung der notwendigen Vorsichtsmaßregeln der Fall sein kann. Auch hier kommt es u. a. zu sehr schmerzhaften Entzündungs- und Blendungserscheinungen mit Sehstörungen und Herabsetzung der Sehschärfe, ja zu zeitweiligem oder gar dauerndem Verlust des Sehvermögens infolge chronischer Entzündungsvorgänge in der Netzhaut.

Die Blendung durch Tageslicht. Zu viel häufigeren, doch glücklicherweise meist leichteren und vorübergehenden Blendungsschädigungen des Auges gibt das diffuse reflektierte Sonnen- und Tageslicht Veranlassung. Schon die Einwirkung des von hellen, grell beleuchteten Straßenreihen und Häuserfronten zurückgeworfenen Sonnenlichtes wird von empfindlichen Personen schlecht vertragen. Ebenso kann häufiges Lesen, Schreiben oder sonstige Nahearbeit in greller Sonnenbeleuchtung zu oft mißdeuteten Störungen des Sehvermögens führen. Hierher gehören auch die Blendungswirkungen des sich auf einer größeren Wasserfläche spiegelnden oder durch helle Dünen und weite Sandflächen (weißer Wüstensand) reflektierten Sonnenlichtes. Am bekanntesten sind die durch reflektiertes Licht hervorgerufenen Blendungserscheinungen bei der sogenannten Schneeblindheit, die bei Polarreisen, Hochgebirgstouren usw. zustande kommt, wenn mit ungeschütztem Auge im Sonnenlicht, aber auch bei gewöhnlichem diffusen Tageslicht weite Schneefelder überschritten werden.

Da diese Blendungserscheinungen weniger durch die sichtbaren Strahlen des Sonnenspektrums als vielmehr durch die dem Auge unsichtbaren, jenseits des veilen Teils des Spektrums gelegenen sogenannten ultraveilen Lichtstrahlen hervorgerufen werden, so kommt es hierbei seltener zu Schädigungen des hinteren Augenabschnittes, insbesondere der Netzhaut, wie bei der direkten Sonnenblendung (siehe S. 242), sondern fast ausschließlich zu Reizungen und Entündungen des vorderen Augenabschnittes, die sich in heftiger Licht-

scheu, starkem Tränenfluß, Bindehautentzündungen äußern und in schwereren Fällen sogar zu Regenbogenhaut- und Hornhautentzündungen führen können.

Die Nachtblindheit und die Tagblindheit. Nicht selten treten zur Schneeblindheit die Erscheinungen der Nachtblindheit hinzu, die darin bestehen, daß die davon Befallenen am Tage zwar noch gut sehen, bei herabgesetzter Beleuchtung, also in der Dämmerung aber ihre Sehfähigkeit so gut wie ganz verlieren. In anderen Fällen kommt es zu der sogenannten Tagblindheit, bei der bei herabgesetzter Beleuchtung besser gesehen wird als bei Tageslicht. Beide Zustände beruhen auf Störungen der Netzhautfunktion, die als Folgen der chemischen Einwirkung der Lichtstrahlen anzusehen sind. Übrigens wird die Nachtblindheit, die auch angeboren auftritt, durch eintönige und ungenügende Ernährungsverhältnisse begünstigt, wie sie bei Schiffsbesatzungen, in Gefängnissen und Kasernen oft als Vorläufer des epidemisch auftretenden Skorbuts vorkommen.

Der Schutz vor Blendungen durch dunkle Gläser. Der Schutz vor allen diesen Schädigungen ist einfach genug. Er besteht in Vermeidung des Eindringens der blendenden Strahlen durch das Tragen von geeigneten Schutzgläsern. Aber es ist dazu nicht, wie man oft meint, jedes nur einigermaßen dunkelgefärbte Glas verwendbar und auch nicht alle im Handel als sogenannte Schutzbrillen vertriebenen dunklen Augengläser sind gleich gut brauchbar. Allerdings verschluckt schon ein gewöhnliches helles Brillenglas einen beträchtlichen Teil der dem Auge besonders schädlichen ultraveilen Strahlen, doch bedürfen solche Gläser zur Gewähr eines wirksamen Schutzes einer solchen Gestalt, daß das Auge auch gegen die von den Seiten einwirkenden Strahlen genügend geschützt ist. Dazu dienen am besten stark gewölbte Gläser, die eine Muschelform besitzen. Auch die Farbe des Glases ist nicht gleichgültig. Am wenigsten gut eignen sich die früher so beliebten blauen Gläser. Sie lassen neben roten und blauen auch die veilen Strahlen durch, und wenn auch das Auge gegen nicht allzu starke veile und ultraveile Strahlen durch eigene Schutzapparate hinlänglich geschützt ist, so versagen sie doch bei stärkerer Einwirkung und die blauen Gläser bleiben in dieser Hinsicht wirkungslos. Viel wirksamer

sind die für die kurzwelligen Strahlen nicht durchgängigen roten und gelben Gläser und namentlich gelbe und grüngelbe Gläser kommen neuerdings mit Recht immer mehr zur Verwendung. Als am besten haben sich indes einfache, rauchgraue Gläser erwiesen, z. B. in der Form der Zeißschen Umbralgläser, der Schottschen Neutralgläser oder der sogenannten Hallauer Gläser. Ganz ungeeignet sind die ebenfalls neuerdings empfohlenen grauen Schutzbrillen aus Zelluloid, einmal wegen ihrer leichten Brennbarkeit, dann aber auch deshalb, weil sie infolge des leichten Beschlagens mit Schweißtröpfchen schnell undurchsichtig werden.

Infolge der leichten Zugänglichkeit eines so wirksamen Mittels, wie es die grauen Schutzbrillen darstellen, wird mit dem Tragen solcher Brillen vielfach insofern ein Mißbrauch getrieben, als man, anstatt sie nur im Notfalle oder auf ärztliche Anordnung zu benutzen, das Auge durch fortgesetztes Tragen auch bei weniger grellem Lichte leicht derart verwöhnt, daß man sie schließlich auch bei mittlerer Tageshelle kaum entbehren zu können glaubt. Hierzu verführt vornehmlich der erste Aufenthalt in sonnigen Gegenden an der Meeresküste, im Süden und besonders in den Tropen, wo die grelle Besonnung auch von weniger empfindlichen Personen anfangs als überaus lästig, ja kaum erträglich empfunden wird. Nach einer kurzen Übergangszeit von wenigen Wochen tritt fast stets eine vollkommene Gewöhnung an die veränderten Helligkeitsverhältnisse ein, die nicht oder nur sehr viel langsamer erfolgt wäre, wenn das erste Blendungsgefühl sogleich das Tragen dunkler Gläser veranlaßt hätte. Übrigens spielt bei der Überempfindlichkeit gegen zu helles Licht der Pigmentgehalt der Haut, vor allem derjenige des Auges eine große Rolle, indem hellblonde und helläugige Personen viel leichter von Blendungserscheinungen belästigt werden als dunkle.

Schädigungen des Auges durch mangelhafte Beleuchtung bei Naharbeit. Die Entstehung der Kurzsichtigkeit in der Schulzeit. Ebenso wie das Übermaß von Beleuchtung, kann auch eine zu geringe Lichtstärke dem Sehorgan schädlich werden. Bekanntermaßen geht mit der Herabsetzung der Beleuchtung eine Abnahme der Erkennungs- und Unterscheidungsfähigkeit einher, so daß kleinere Gegenstände dem Auge entsprechend genähert werden müssen, um noch deutlich erkannt

werden zu können. Dies kann indes, wenigstens für längere Zeit, nicht ohne Schädigung des Auges ertragen werden. Länger andauerndes Sehen unter mangelhaften Beleuchtungsverhältnissen, zumal im jugendlichen Alter, begünstigt, wenn nicht das Entstehen, so doch mindestens die Verschlimmerung einer bereits bestehenden Kurzsichtigkeit und ist daher unter allen Umständen zu vermeiden, einerlei, ob es sich um längeres anstrengendes Naharbeiten bei mangelhaftem Tageslicht, wie in der Dämmerung, aber auch schon unter Umständen bei Nebel- oder Regenwetter, oder bei ungenügender bzw. ungeeigneter künstlicher Beleuchtung handelt. Durch diese immer noch viel zu wenig beachteten Verhältnisse drohen dem noch im Wachstum befindlichen jugendlichen Auge besonders schwere Gefahren.

Eine besondere Beachtung ist in dieser Hinsicht der Gesundheitspflege des Auges in den S c h u l e n zu schenken. Eingehende Forschungen und wissenschaftliche Untersuchungen an umfassendem Schülermaterial der verschiedensten Schulen unter Berücksichtigung aller Altersklassen haben ergeben, daß angestrengte und anhaltende Naharbeit bei dazu beanlagten Kindern Veranlassung zur Entstehung von Kurzsichtigkeit gibt und eine bereits bestehende Kurzsichtigkeit verstärkt. Weiterhin haben diese Untersuchungen bestätigt, daß diese Einwirkung sich besonders stark bei Kindern kurzsichtiger Eltern geltend macht. Indes gibt nicht jede Schule in gleich starker Weise zur Entstehung der Kurzsichtigkeit Anlaß. Am wenigsten Kurzsichtigen begegnet man in den Dorfschulen auf dem Lande, mehr in den Städten und am meisten in den höheren Schulen. Dabei steigt die Zahl der Kurzsichtigen überall von Klasse zu Klasse, und man kann sagen, daß mit der den Augen zugemuteten Naharbeit die Zahl der Kurzsichtigen zunimmt. Dazu kommt noch, daß sich mit der Z a h l auch der G r a d der Kurzsichtigkeit von Klasse zu Klasse steigert. Es sind also die Insassen der obersten Klassen der höheren Schulen, insbesondere der Gymnasien, nicht nur der Zahl, sondern auch der Stärke der Kurzsichtigkeit nach am schwersten betroffen. Auffallend ist dabei der Einfluß der Volkszugehörigkeit insofern, als an der Spitze der Kurzsichtigen hinsichtlich ihrer Zahl und ihres Grades das deutsche Volk steht, so daß man auch hieraus schon auf einen Zusammenhang mit der Höhe der Schulanforderungen schließen kann. Merkwürdigerweise zeigt die Verteilung der Kurzsichtigkeit

auf die beiden Geschlechter eine deutliche Verschiedenheit, indem das männliche Geschlecht annähernd doppelt so häufig von ihr befallen wird als das weibliche.

Mit den Schul- und Ausbildungsjahren, also mit der Beendigung der Entwicklungsjahre, hört auch die weitere Zunahme wenigstens der leichteren und mittleren Grade der Kurzsichtigkeit in den meisten Fällen auf, und zwar um so mehr, wenn rechtzeitig für eine Verordnung passender Augengläser und für die Beachtung bestimmter augengesundheitlicher Vorschriften Sorge getragen wird.

Übrigens ist nicht jede Naharbeit in gleichem Maße als die Vorbedingung zur Entstehung oder Verschlimmerung der Kurzsichtigkeit anzusehen, sondern fast ausschließlich übermäßig lang fortgesetztes Schreiben und Lesen bei mangelhafter Beleuchtung und ungeeigneter Körperhaltung. Mit dieser Feststellung ist schon die große Wichtigkeit der in den Schulen wie in der Häuslichkeit zu pflegenden Fürsorge für das Sehorgan ausgesprochen, die noch dadurch an Bedeutung gewinnt, daß die Kurzsichtigkeit überaus häufig von einer Herabsetzung der normalen Sehschärfe begleitet ist oder ihr Entstehen begünstigt. Diese Herabsetzung pflegt um so größer zu sein, je höher die Kurzsichtigkeit ist.

Glücklicherweise erliegen bei weitem nicht alle Augen diesen schädigenden Einflüssen der Naharbeit, sonst müßte ja auch in früheren Zeiten, wo die Beleuchtungsvorrichtungen unendlich viel mangelhafter waren und von einer wissenschaftlich begründeten Gesundheitspflege des Auges noch keine Rede sein konnte, die Kurzsichtigkeit viel häufiger und auffälliger hervorgetreten sein. Man muß daher neben den angeführten Schädlichkeiten eine besondere und zwar angeborene Veranlagung als bestehend annehmen. Dafür spricht vor allem die schon erwähnte Tatsache, daß in erster Linie die Kinder bereits kurzsichtiger Eltern unter der Wirkung der genannten Einflüsse wieder kurzsichtig werden. Wie dem aber auch sei, die große Häufigkeit dieser Sehstörung legt es eindringlich nahe, die Naharbeit in den Schulen einerseits tunlichst einzuschränken oder sie wenigstens durch genügende Abwechslung mit anderen Beschäftigungen so gefahrlos wie nur möglich zu gestalten, andererseits ihren schädlichen Einwirkungen durch die Beachtung einer Reihe wichtiger Gesichtspunkte zu begegnen.

Zu diesem Zwecke ist in erster Linie für eine gute Körperhaltung der Schüler während der Schreib- und Lesetätigkeit Sorge zu tragen, um sowohl in der Schule wie zu Hause ein gefahrloses Nahearbeiten zu gewährleisten. Neben der Körperhaltung kommt es auf die Innehaltung des richtigen Abstands der Augen von der Arbeitsfläche an. Beides wird in den üblichen Schulbänken erreicht durch eine bequeme Sitzgelegenheit mit Lehne für das Kreuz, welche eine länger dauernde Aufrechterhaltung des Oberkörpers ohne Ermüdung gestattet, und einen Arbeitstisch, welcher der Größe des Kindes entspricht und die Innehaltung des richtigen Augenabstandes vom Tisch — nicht weniger als $^1/_3$ m — am besten ermöglicht. Da eine horizontale Tischplatte die für den ganzen Körper schädliche vornübergebeugte Körperhaltung begünstigt, ist sie am besten in einem Winkel von 10—15° nach abwärts geneigt. Um ein bequemes Aufstehen zu ermöglichen, werden die Tischplatten und Sitze zum Zurückklappen oder Zurückschieben eingerichtet. Auch für die häusliche Arbeit des Schülers muß auf irgendeine behelfsmäßige Weise unter Innehaltung der obigen Grundsätze auf eine möglichst zweckmäßige Arbeitsgelegenheit Bedacht genommen werden. Sehr empfehlenswert ist der Gebrauch des sog. Hausschülerpultes, das nach den genannten Grundsätzen gebaut ist und jeder Körpergröße angepaßt werden kann. Läßt trotzdem die Körperhaltung des Schülers zu wünschen übrig oder verschlechtert sich gar noch mehr, so kommen besondere mechanische Hilfsmittel in Gestalt der verschiedenen Gradehalter in Betracht, deren Auswahl sachverständigem Rat zu überlassen ist.

In nicht weniger hohem Maße wird die Anstrengung der Augen durch die Lage des Schreibheftes und die Schriftrichtung beeinflußt. Bekanntlich unterscheidet man je nach der Stellung der Buchstaben die Schrägschrift und die Steilschrift. Da bei letzterer die Körperhaltung des Kindes eine bessere, geradere und ungezwungenere ist, so ist ihr vor der Schrägschrift der Vorzug zu geben, wenn auch diese sich mehr zum schnellen Schreiben eignet. Der Steilschrift entspricht die grade, der Schrägschrift die schräge Heftlage.

Hinsichtlich der Schrift selbst verdient die Frage Berücksichtigung, ob man nicht, um den Kindern die unnötige Belastung mit dem Erlernen zweier Alphabete zu ersparen, das deutsche oder das

lateinische ganz aufgeben soll. Abgesehen von seiner leichteren und schnelleren Lesbarkeit wird man sich um so mehr für die Beibehaltung des lateinischen entscheiden können, weil die für die deutsche Schrift vorgebrachten nationalen Gründe sich bei näherer Betrachtung als nicht stichhaltig erweisen. Die sogenannte gotische Schrift ist keineswegs, wie vielfach behauptet wird, eine deutschnationale Schrift, sondern nichts anders als eine im Laufe des frühen Mittelalters in fast allen westeuropäischen Ländern mehr oder weniger gleichzeitig erfolgte Verwandlung der ursprünglich überall verwendeten Lateinschrift. Während aber alle anderen Völker wieder zu dieser zurückkehrten, blieb man in Deutschland bei der gotischen Schrift. Ihr Wegfall würde daher für alle Ausländer die Beseitigung einer Hauptschwierigkeit beim Erlernen der deutschen Sprache bedeuten.

Auch das Schreibmaterial und der Druck hat seine Bedeutung für die Gesundheitspflege des Auges. Die von altersher gebräuchliche Schiefertafel samt Griffel sind zwar schon längst als unzweckmäßig erkannt worden, weil die Buchstaben viel zu schwer erkennbar sind, aber die zu ihrem Ersatz vorgeschlagenen weißen Kunststeintafeln und Email- bzw. Beinglastafeln haben die wohlverdiente allgemeine Anerkennung bisher noch nicht gefunden. Kann man sich zu ihrer Einführung nicht entschließen, so sollte man, wie es vielfach auch schon geschieht, lieber die Kinder von vornherein mit Tinte auf Papier schreiben lassen.

Von großer Wichtigkeit ist deutlicher, fetter, schwarzer Druck der Schulbücher auf festem, weißem, mattem Papier. Beim Druck sind ferner die Größe der Buchstaben, die Zwischenräume zwischen den einzelnen Buchstaben, Worten und Zeilen, sowie deren Länge zu berücksichtigen. Ein breiter Rand erleichtert das Lesen ganz beträchtlich. Natürlich gilt die Innehaltung eines Augenabstandes von $^1/_3$ m für alle Naharbeiten, also auch für die Handarbeiten der Mädchen, das Zeichnen und Malen usw.

Schädigende Einwirkung der künstlichen Beleuchtung. Den durch allzu große oder zu geringe Lichtmengen dem Auge drohenden Schädigungen steht der Einfluß gegenüber, welchen die künstliche Beleuchtung, die in unserem heutigen Dasein eine so außerordentlich wichtige Rolle spielt, auf unser Auge auszuüben vermag.

Die Bedeutung dieser Frage wird um so verständlicher, wenn man bedenkt, einen wie großen Teil der Arbeitszeit unseres Lebens wir auf die Benutzung künstlichen Lichtes angewiesen sind und wenn man sich vergegenwärtigt, daß trotz der großartigen Fortschritte, die die Beleuchtungstechnik gerade in den letzten Jahren erfahren hat, die künstlichen Leuchtquellen das Erfordernis, dem Tageslicht möglichst nahe zu kommen, doch nur teilweise erfüllen. Um ein vergleichsweises Urteil über die Helligkeitsunterschiede der verschiedenen einzelnen Lichtquellen zu gewinnen, benutzt man die sogenannte Meterkerze als Normalkerze und bezeichnet damit die Leuchtkraft einer willkürlich gewählten Lichteinheit, welche diese in der Entfernung von 1 m zeigt. Die Meterkerze stellt als Normalmaß die Helligkeit eines Blattes weißen Papiers in dem Abstand eines Meters von einer Normalkerze dar, und man berechnet den Wert der Helligkeit einer beliebigen Lichtquelle, mit anderen Worten, man mißt ihre Helligkeit in der Weise, daß man diese mit derjenigen der Normalkerze vergleicht und in Zahlen ausdrückt. Auf diese Weise hat man die zur Beleuchtung eines Arbeitsplatzes für gröbere Arbeiten notwendige Lichtmenge auf 10 Meterkerzen, für sehr feine Arbeiten bis zu 50 Meterkerzen berechnet. Je nach dem Beleuchtungsbedürfnis werden die verschiedensten künstlichen Lichtquellen in Anwendung gezogen; sie alle einzeln aufzuführen und hinsichtlich ihrer besten Eignung für die Augen durchzusprechen, würde zu weit führen; es genügt zu sagen, daß hierfür im großen und ganzen das subjektive Gefühl des Behagens vorläufig noch ausschlaggebend ist.

Die künstlichen Lichtquellen. In den primitiven Zeiten diente das Herdfeuer gleichzeitig als Lichtquelle, bis die Trennung von Heizung und Beleuchtung erfolgte und die moderne Beleuchtungstechnik anstrebte, dem Tageslicht möglichst nahe kommende künstliche Beleuchtung herzustellen. Trotz der vielen grade in neuester Zeit erreichten Vervollkommnungen weisen auch die heutzutage am meisten gebräuchlichen künstlichen Lichtquellen noch mannigfache Mängel in augengesundheitlicher Hinsicht auf. Am besten ist natürlich diejenige Beleuchtung, die ohne zu blenden und zu große Hitze zu entwickeln, am meisten Leuchtkraft entwickelt und am wenigsten kostet. Je nach der Menge der von der Lichtquelle ausgehenden Wärmestrahlen ist

die von ihr stammende Wärmemenge verschieden. Auf gleiche Leuchtkraft bezogen ist sie am geringsten beim elektrischen Bogenlicht, etwas stärker beim elektrischen Glühlicht, nimmt weiter zu beim Gasglühlicht, beim gewöhnlichen Gasbrenner und ist am stärksten bei Kerzen- und Petroleumlicht. Es sind daher alle Lichtquellen, die wegen ihrer relativ geringen Leuchtkraft nur einen oder wenige Arbeitsplätze gleichzeitig zu beleuchten vermögen, sich also in unmittelbarer Nähe des Arbeiters befinden müssen, mit Schutzmitteln zu versehen, um den schädlichen Einfluß der strahlenden Wärme zu beseitigen, der sich in Kopfschmerzen infolge der einseitigen Erwärmung des Kopfes und in einem lästigen Trockenheitsgefühl der Augen infolge der durch die Wärme vermehrten Abdunstung der Bindehautflüssigkeit äußert. Hierzu finden bekanntermaßen die verschiedenen Lampenglocken und -schirme Verwendung, die neben dem Fernhalten der Wärmestrahlen auch zum Schutze des Auges gegen Blendung durch den Einfall direkter Lichtstrahlen dienen. Um zweckmäßig zu wirken, müssen sie, am besten in der Form der aus Milchglas hergestellten Trichterglocken, das Licht der Petroleum-, Gas- und elektrischen Glühlampen in der Hauptsache nach abwärts auf den Arbeitsplatz werfen, wenn auch die übrige Helligkeit des Raumes dadurch eine gewisse Einbuße erleidet. Zum weiteren Schutz gegen die direkten Lichtstrahlen sind vielfach noch unten am Lichtkörper kleine, matte, umgekehrt gestellte Trichter (Augenschützer) angebracht. Einen guten Schutz gegen die von den Petroleumlampen ausstrahlende Wärme geben die doppelwandigen Lichtschirme aus Pappe usw., die, mit Luftlöchern versehen, an dem unteren Rand der Glasglocken verschiebbar angehängt werden. Überhaupt gewährt jeder einfache behelfsmäßige an Drahthaken hängende Pappschirm mit weißer Innenfläche ausreichenden Schutz gegen die Kopf und Auge treffende Lampenhitze. Immerhin sind Petroleumlampen nur in beschränkter Zahl für die Beleuchtung einzelner Arbeitsplätze zu verwenden und eignen sich wegen der zu starken Einbuße an Leuchtkraft und der nie ganz zu vermeidenden Luftverschlechterung nicht zur Erhellung größerer Arbeits- und Versammlungsräume. Eine wesentliche Erhöhung ihrer Leuchtkraft wurde durch die Anwendung des Petroleumglühlichtes erreicht.

Wo Gas nicht zur Verfügung steht, errang das Spiritus-

glühlicht eine größere Verbreitung. Am wichtigsten für die Beleuchtungsfrage wurde aber die Erfindung des Gasglühlichts, einmal wegen der außerordentlichen Steigerung der Leuchtkraft, dann aber auch wegen des bedeutend verminderten Gasverbrauchs und der geringeren Wärmeentwicklung. Das sogenannte Auerlicht und Grätzinlicht entspricht seiner Zusammensetzung nach am meisten dem gewöhnlichen Tageslicht und ist daher als das für das Auge vorteilhafteste anzusehen. Es dient infolgedessen nicht nur zur Erleuchtung der Wohn- und Arbeitsräume, sondern auch für Straßenbeleuchtung und sonstige größere Beleuchtungsanlagen dort, wo kein elektrisches Licht zur Verfügung steht.

Der stärkste Konkurrent des Gaslichtes ist das elektrische Licht in Gestalt des elektrischen Glühlichtes und des Bogenlichtes. Während dieses für größere Räume heutzutage fast ausschließlich in Frage kommt, dient jenes hauptsächlich den Zwecken der häuslichen Beleuchtung. Seitdem es gelungen ist, die starken Helligkeitsschwankungen des Bogenlichtes zu vermeiden, bedarf es wegen seiner außerordentlichen Lichtstärke nur eines geeigneten Schutzes gegen Blendung in Gestalt der bekannten großen Milchglaskuppeln. Der Vorteile des Bogenlichtes — sehr geringe Wärmestrahlung und gänzlicher Mangel der Luftverunreinigung — erfreut sich in gleicher Weise das elektrische Glühlicht. An Lichtstärke steht es dem Auerlicht zwar nach, ist auch nicht unerheblich teurer, der Nachteil des gelben Lichtes ist aber seit dem Ersatz der Kohlenfaden- durch die Metallfadenlampe so gut wie ausgeglichen.

In neuester Zeit hat sich da, wo weder Gas noch Elektrizität zu Gebote steht, das Azetylenlicht immer mehr eingebürgert. Seine große Helligkeit, zumal als Azetylenglühlicht, erfordert ebenfalls einen entsprechenden Schutz für das Auge.

Trotz all dieser Fortschritte in der Technik der Beleuchtungsmittel müssen doch noch nach wie vor die Vorteile der indirekten Beleuchtung größerer Räume anerkannt bleiben, sowohl wegen des völligen Fehlens jeder Blendung, Luftverschlechterung und strahlender Wärme, als auch wegen der gleichmäßigen Erhellung des ganzen Raumes mit einem milden, dem Auge wohltuenden Licht. Am besten eignet sich das elektrische Bogenlicht zur indirekten Be-

leuchtung, welches man durch die Mattscheiben des Oberlichtes größerer Säle usw. einfallen läßt. Neuerdings ist das sogenannte Moorelicht vielfach in Aufnahme gekommen, welches dadurch entsteht, daß luftleere Glasröhren, die an der Decke der Räume angebracht werden, durch elektrischen Drehstrom zum Leuchten gebracht werden.

Die Beleuchtung der Schulräume. In das weiter oben schon behandelte Gebiet der Schulaugenpflege gehört auch die Fürsorge für die zweckmäßigste Beleuchtung der Räume unserer Schul- und Unterrichtsanstalten. Die beste Beleuchtung für solche Räume bietet natürlich das Tageslicht, dessen ohnehin je nach der Witterung verschiedene Helligkeit auch noch durch die Lage, Größe und Befensterung der Räume weitgehend beeinflußt wird. Hieraus ergibt sich als erstes Erfordernis eine möglichst freie Lage des Schulhauses, dessen Fenster entsprechend zahlreich, hoch und ohne größere Zwischenräume sein müssen, damit möglichst von jedem Platze aus der freie Himmel sichtbar ist. Am besten sind die Fenster nach der Süd-, Ost- oder Südostseite gelegen, da ja auch an trüben Tagen der südliche Himmel am leuchtkräftigsten ist. Natürlich muß dann auch für Schutz gegen das einfallende Sonnenlicht gesorgt werden, und zwar in Form gut schließender, lückenloser, grauer (nicht weißer) Vorhänge. Die Arbeitsplätze sind so einzurichten, daß sie das Licht von links empfangen. Die ideale Forderung des Oberlichtes, wie es in manchen Fabrikräumen (Shedräumen) Verwendung findet, kann allerdings nur in seltenen und besonders gearteten Fällen erfüllt werden, da dann auf die Übereinanderlage der Schulräume verzichtet werden müßte.

In älteren Schulhäusern muß man zu mancherlei Auskunftsmitteln zur Verbesserung der Lichtverhältnisse greifen. Dazu dienen u. a. heller Anstrich der Schulräume selbst und etwa gegenüberliegender Haus- und Mauerflächen, vor den Fenstern anzubringende Spiegel und Tageslichtreflektoren (z. B. in Gestalt der sogenannten Luxferprismen).

Ist künstliche Beleuchtung nicht ganz zu vermeiden, so muß wegen des Wegfalls störender Schatten möglichst für indirekte Beleuchtung gesorgt sein. Als Grundregel hat zu gelten, daß an jedem, auch dem dunkelsten Arbeitsplatz, feine Druckschrift in einer Entfernung von 30 cm vom Auge noch bequem gelesen werden kann

Andernfalls kann der Arbeitsplatz nicht als genügend beleuchtet gelten, um die durchaus erforderliche Schonung der jugendlichen Augen zu gewährleisten.

Aber auch bei Erfüllung aller dieser Anforderungen kann eine Schädigung dazu veranlagter Augen nur dann verhütet werden, wenn ein Übermaß anstrengender Naharbeit in den Schulen vermieden wird. Hierfür sind zweckmäßige Verteilung und Abwechselung der Naharbeitsstunden mit solchen die Augen weniger beanspruchenden, ferner genügende Ruhepausen mit möglichst reichlichem Aufenthalt im Freien, Beschränkung der häuslichen Aufgaben und Strafarbeiten auf das Notwendigste, Beförderung turnerischer Spiele, Ausflüge und genügender sportlicher Betätigung erforderlich. Die Wichtigkeit der Einschränkung grade der häuslichen Arbeit ist deshalb besonders zu betonen, weil erfahrungsgemäß die gesundheitlichen Anforderungen an Beleuchtung, richtige Körperhaltung und nicht zu lange Dauer der Naharbeit zu Hause nur in den seltensten Fällen genügend berücksichtigt werden.

Durchdrungen von der Erkenntnis der dringenden Notwendigkeit einer sachgemäßen Gesundheitspflege des jugendlichen, noch in der Entwicklung befindlichen Auges hat man neuerdings begonnen, durch Anstellung sachverständiger Organe, der sogenannten Schulärzte, für die Beachtung und Durchführung aller einschlägigen Vorschriften Sorge zu tragen. Ihnen liegt es unter anderen Aufgaben ob, im Zusammenwirken mit den Schulbehörden sich durch regelmäßig wiederholte Augenuntersuchungen von dem Vorhandensein etwaiger schädlicher Einwirkungen auf die Augen zu überzeugen und für ihre Abstellung zu sorgen, die Unterrichtsmittel hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit auch vom augengesundheitlichen Standpunkte aus zu prüfen, die Beleuchtungsverhältnisse zu beachten und der augenärztlichen Behandlung bedürftige Kinder dieser zuzuführen (Brillenverordnung!).

Die Brechungsfehler und ihre Verbesserung durch Brillengläser. Eine besonders wichtige Aufgabe der Schulgesundheitspflege des Auges stellt die Fürsorge für die Behebung der Brechungsfehler des Auges durch geeignete und rechtzeitig zu erfolgende Brillenverordnung dar. Alle die zur Vermeidung der Zunahme der Kurzsichtigkeit während der Entwicklungslehre empfohlenen Maßnahmen versprechen

nur dann Erfolg, wenn das bereits als kurzsichtig erkannte Auge alsbald mit dem dem Grade seiner Kurzsichtigkeit entsprechenden Hohl-(Konkav-)Glas versehen wird und für dessen beständiges Tragen gesorgt wird. Überdies wird hierdurch dem mit der Kurzsichtigkeit so oft einhergehenden Auswärtsschielen am leichtesten vorgebeugt. Ähnliches gilt für das übersichtige Auge, dessen verminderte Leistungsfähigkeit nur durch das Tragen eines entsprechenden Sammel-(Konvex-) Glases, zumal für die Naharbeit gebessert werden kann, wodurch gleichzeitig am ehesten die Entstehung des mit der Übersichtigkeit häufig verbundenen Einwärtsschielens vermieden wird. Während vom erwachsenen Übersichtigen ein Glas für die Ferne und ein stärkeres für die Nähe getragen werden muß, kann man beim Jugendlichen mit einem Glase für die Nähe und die Ferne auskommen. Auch die Altersichtigkeit erfordert das Tragen entsprechender Sammel-(Konvex-) Gläser, wenn die physiologische Zunahme der Linsenbrechkraft nicht mehr ausreicht, um in der üblichen Arbeitsentfernung von $^1/_3$ m feineres Sehen, z. B. beim Lesen, zu ermöglichen. Natürlich macht sich dieser Zustand, der beim Normalsichtigen im Alter von 40 bis 45 Jahren auftritt, beim Kurzsichtigen entsprechend dem Grade seiner Kurzsichtigkeit später, beim Übersichtigen früher geltend.

Auch die Stabsichtigkeit (Astigmatismus) macht zur Verbesserung des durch sie bedingten undeutlicheren Sehens das Tragen besonders geschliffener sogenannter Zylinder gläser erforderlich, die je nachdem mit Gläsern für Kurz- oder Übersichtigkeit zu kombinieren sind. Schließlich bedarf auch das staroperierte, d. h. linsenlose Auge eines dem Grade der Linsenbrechkraft entsprechenden Glases.

Aus diesen Erörterungen geht ohne weiteres hervor, eine wie große Bedeutung den Brechungsfehlern des Auges zukommt und wie wichtig ihre Verbesserung durch eine zweckmäßige Brillenverordnung ist. Denn da die Art und der Grad des Brechungsfehlers in jedem Falle erst genau festgestellt und stets ein diesem entsprechendes Brillenglas verschrieben werden muß, wenn nicht dem Auge nicht wieder gutzumachender Schaden zugefügt werden soll, so hat stets eine richtige Brillenbestimmung nach vorheriger genauer Feststellung des Brechungsfehlers, und zwar für jedes Auge getrennt, zu erfolgen. Da aber die dazu notwendigen Vorkenntnisse von einem Optiker nicht verlangt werden können, so ist es durchaus zu verwerfen, sich die

Brille von diesem verschreiben zu lassen, dem nur der Verkauf der Brille zusteht. Jeder Augenarzt weiß von den unzähligen vom Optiker falsch verschriebenen Brillengläsern und von dem dadurch angerichteten Schaden und herabgeminderter Arbeitskraft zu berichten. Es kann daher nicht nachdrücklich genug darauf gedrungen werden, eine jede Brillenverordnung nur von einem Arzt, am besten natürlich einem Augenarzt vornehmen zu lassen, der allein die zu einer ordnungsgemäßen Brillenbestimmung notwendigen Augenuntersuchungsmethoden zu beherrschen vermag. Um dies zu erreichen, wäre es am zweckmäßigsten, dem Optiker jede Verabfolgung einer Brille nur auf Grund einer ärztlichen Verordnung zu gestatten.

Der Wert des Brillentragens. Im Zusammenhang hiermit sei noch des häufig geäußerten Vorurteils gedacht, durch fortgesetztes Brillentragen werde das Auge geschädigt („verdorben") oder wenigstens unnötig „verwöhnt". Wohl schädigt, wie gesagt, das falsch, niemals aber das richtig verschriebene passende Brillenglas die Augen. Nur durch ein solches kann einer Überanstrengung des Auges vorgebeugt und die Zunahme des Brechungsfehlers sowie die Entstehung des Schielens vermieden werden. Auch bei der Alterssichtigkeit, so hört man sagen, solle erst möglichst spät und möglichst selten die „Lesebrille" getragen werden, da man sonst bald überhaupt nicht mehr imstande sei, ohne Gläser auch nur kurze Zeit deutlich in der Nähe zu sehen. Das stimmt allerdings, liegt aber nicht am Brillentragen, sondern an der fortschreitenden Änderung, der jede Linse im Alter infolge ihres zunehmenden Elastizitätsverlustes unterliegt. Es ist daher nur eine nutzlose Quälerei, den Gebrauch einer Lesebrille möglichst lange aufzuschieben. Bei Übersichtigen und Stabsichtigen verschwinden unter dem Gebrauch richtig verschriebener Gläser die Beschwerden oft wie mit einem Schlage und auch die Kurzsichtigen mittleren Grades gewöhnen sich meist leicht an das dauernde Tragen der Brille.

Zur Verordnung einer richtigen Brille gehört noch die Beachtung einiger mehr technischer Fragen. So ist z. B. ihres besseren Sitzes halber eine B r i l l e im allgemeinen da zu wählen, wo ein dauernder Gebrauch des Glases in Frage kommt, wie er den Kurzsichtigen mittleren Grades empfohlen werden muß. Andererseits ist der K l e m m e r

zur vorübergehenden Benutzung, z. B. beim Alterssichtigen, mehr zu empfehlen. Von großer, meist unterschätzter Wichtigkeit ist die Stellung des Augenglases zum Auge. Der Gläserabstand voneinander muß genau dem Pupillenabstand entsprechen, damit die Mitte des Glases direkt vor die Pupille zu liegen kommt. Ferner dürfen die Gläser nicht schief, sondern müssen senkrecht vor dem Auge stehen. Ihr Abstand von der Hornhaut hat etwa 1 cm zu betragen. Auch auf die Form des Nasenrückens, der Schläfe und des Ohres ist bei der Brillenauswahl Bedacht zu nehmen.

Die Verletzungen der Augen. Die Zufallsverletzungen. Vermöge seiner freien und oberflächlichen Lage ist das Auge trotz gewisser Schutzvorrichtungen (Augenlider, Wimpern, Augenbrauen, Tränenabsonderung, knöcherne Augenhöhle) der Einwirkung äußerer Beschädigungen in besonders hohem Maße ausgesetzt. Schon im Kindesalter sind die Gefahren einer Augenverletzung beim Spielen mit scharfen oder spitzen Gegenständen und Feuerwerkskörpern bedeutend und mahnen zur Vorsicht in der Auswahl der Spielwaren und zu genügender Beaufsichtigung beim Spielen. Am wenigsten verhüten läßt sich natürlich die große Zahl der Schädigungen, die das Auge zufällig treffen. Bei der Unsicherheit der Vorhersage über die voraussichtliche Wirkung auch anfangs geringfügig erscheinender Zufallsverletzungen ist es dringend geboten, in jedem Falle ärztlichen Rat in Anspruch zu nehmen, da Selbsthilfe oder Laienhilfe fast stets das Übel zu verschlimmern angetan ist. Das gilt vor allem für die häufigen Fremdkörperverletzungen, die durch zufälliges Hineinfliegen von Kohle-, Eisen-, Stahl-, Stein-, Holz-, Staub- usw. teilchen (z. B. bei Eisenbahnfahrten) zustande kommen. Reiben und Wischen des Auges dient nur dazu, den Entzündungszustand zu verstärken und dadurch sachgemäße Hilfe zu erschweren. Auch die im Volke so beliebten nassen Umschläge sind zu verwerfen, da sie nie nützen und nur schaden können.

Die Berufsverletzungen. Die Art und Häufigkeit der Berufsverletzungen des Auges von der oberflächlichen Schramme bis zur schwersten Zertrümmerung des ganzen Auges ist bekanntlich eine so ungeheuere, daß sie ohne weiteres alle Schutzmaßnahmen rechtfertigen,

die zu ihrer Herabminderung getroffen werden. Daher hat die Gesetzgebung im Hinblick auf die mannigfachen Gefahren, die dem Auge in besonderen Berufszweigen drohen, auf Veranlassung der Berufsgenossenschaften die Anwendung sachgemäßer Schutzvorrichtungen, wie z. B. Schutzbrillen, Schutzfenster an Drehbänken, Schleifsteinen u. a. m., in den Betrieben angeordnet. Schlosser, Schmiede, überhaupt Metallarbeiter werden durch das Eindringen abspringender Metallsplitter, glühender Metall- und Kohleteilchen, die Arbeiter in Bergwerken, in Steinbrüchen durch Steinsplitter z. B. bei Sprengschüssen, Maurer und Anstreicher durch Kalk, Arbeiter der chemischen Industrie durch ätzende Stoffe und Gase gefährdet. In der Landwirtschaft sind Verletzungen durch Halme, Zweige, Samenhülsen usw., Verätzungen durch künstlichen Dünger an der Tagesordnung. Im Eisenbahn- und Schiffahrtsdienst spielt das Hineinfliegen von Kohleteilchen eine Hauptrolle. Viel ernsterer Art sind natürlich die Schußverletzungen, die im Kriege, aber auch im Frieden, so häufig den Verlust des Auges im Gefolge haben. Sehr gefährlich sind Verletzungen, bei denen der Fremdkörper die äußeren Augenhüllen durchbohrt und im Augeninnern zurückbleibt, besonders wenn er aus Eisen oder Kupfer besteht. Man sucht derartige Splitter, deren Verbleiben unter anderem sogar zu schweren Entzündungen, ja Erblindungen des gesunden Auges führen kann, wenn möglich operativ zu entfernen, falls es nicht gelingt, sie, d. h. die aus Eisen bestehenden, mittels eines Elektromagneten aus dem Auge zu ziehen.

In die Reihe der Zufalls- und Berufsverletzungen des Auges gehört auch die Einwirkung ätzender Flüssigkeiten, Säuren, Laugen, schädlicher Dämpfe (Formalin) und Gase (Ammoniak, Chlor, Salz-, Salpeter-, Schwefel-, Flußsäure), Rauch, Methylalkohol u. a. m., einerlei, ob sie direkt das Auge treffen oder erst nach Einatmen und Aufnahme ins Blut ihre augenschädigende Giftwirkung entfalten (Schwefelkohlenstoff, Schwefelwasserstoff).

Die zum Schutze gegen das Eindringen von Fremdkörpern auf den Arbeitsplätzen vorrätig gehaltenen Schutzbrillen müssen natürlich dem jeweiligen Zwecke entsprechend gebaut sein. Sie müssen imstande sein, auch kleine Splitter abzuhalten, ohne den Lichtzutritt zu behindern, bequem sitzen und das Auge von allen Seiten, nicht nur von vorn schützen. Die Hauptsache ist aber, daß sie trotz der unvermeidlichen

Unbequemlichkeiten auch wirklich beständig während der Arbeit getragen werden.

Wie gesagt, kann nur bei den allerwenigsten Augenverletzungen Selbst- oder gegenseitige Hilfe vor Eintreffen des Arztes in Frage kommen. Höchstens bei ganz oberflächlich und lose sitzenden, gut sichtbaren Fremdkörpern ist der Versuch gestattet, sie mittels eines reinen feuchten Wattebausches vorsichtig abzuwischen. Handelt es sich um die nicht seltenen Kalk- und Mörtelverletzungen, bei denen im Hinblick auf die schweren, dem Auge durch die Verbrennung drohenden Gefahren eiligste Hilfe geboten ist, so verfährt man in ähnlicher Weise und sorgt unter reichlichem Auswaschen mit reinem Wasser für möglichst schnelle und ausgiebigste Entfernung aller Kalkteilchen. Die vielfach geäußerte Befürchtung, daß durch die Wasseranwendung der noch nicht gelöschte Kalk gelöscht und die Verätzung dadurch nur vermehrt würde, trifft nicht zu, da derartiges nur bei den höchst seltenen Fällen des Eindringens von pulverförmigem Ätzkalk zu gewärtigen ist. Aber auch hier ist die unmittelbare reichliche Anwendung einer Wasserspülung aus einer einfachen Kanne das einzig wirksame Mittel gegen die dem Auge durch die Verätzung drohenden schweren Gefahren.

Die Augenschädigungen durch Genußgifte — Alkohol und Tabak. Unter den vom Blut aufgenommenen und zu allgemeinen Krankheitserscheinungen führenden Giften geben einige der bekanntesten auch zu besonderen Schädigungen der Augen Anlaß und verdienen daher eine kurze Erwähnung. In erster Linie ist hier der chronische Alkohol- und Tabakmißbrauch zu nennen. Beide Gifte, in mäßigen Mengen genossen im allgemeinen unschädlich, können bei stark gesteigertem und lange Zeit hindurch fortgesetztem Genuß zu schweren Schädigungen des Sehvermögens führen. Diese sind bedingt durch eine sich ganz allmählich entwickelnde Erkrankung des Sehnerven, die abgesehen von Schwachsichtigkeit sich in Einengung und teilweisem Ausfall des Gesichtsfeldes, unter Umständen nur für einzelne Farben äußert. Hierzu kann sich in schweren Fällen und bei körperlich heruntergekommenen Personen die Erscheinung der Tagblindheit (s .S. 245) zugesellen. Wenn auch der fortgesetzte Mißbrauch des einen oder des anderen dieser Gifte allein für sich schon imstande

ist, die genannten Schädigungen herbeizuführen, so wirken sie doch meist am verderblichsten bei gemeinsamen Genuß, wie er ja auch die Regel ist. Nicht alle Sorten Nikotin und Alkohol wirken gleich schädlich. Die billigeren und nikotinreicheren Tabake, zumal im feuchten Zustande, sind gefährlicher als die besseren. Die Art des Tabakgenusses, ob Kauen oder Rauchen von Pfeife, Zigarren oder Zigaretten ist ohne besonderen Einfluß auf die Giftwirkung. Manche Völker, z. B. die Türken und Südamerikaner, scheinen, vielleicht wegen des Fehlens des Alkoholmißbrauchs, gegen Tabakvergiftung unempfänglich zu sein.

Unter den Alkoholsorten sind natürlich die alkoholreichen Schnäpse die gefährlichsten; vor allem der Methylalkohol kann schon in ganz geringen Mengen hochgradige Schädigungen des Augenlichtes, ja Erblindungen herbeiführen.

Den einzigen verläßlichen Schutz gegen diese Giftwirkungen bildet die möglichste Einschränkung oder besser noch die vollkommene Enthaltung dieser Genußmittel, zumal wenn sich bereits die ersten Folgen des Mißbrauchs offenbart haben.

Es ist daher ein dringendes Gebot der öffentlichen Gesundheitspflege, die Kenntnis der aus diesen Genüssen erwachsenden Gefahren zu verbreiten, vor dem übertriebenen Genuß zu warnen und vor allem die Jugend davor zu bewahren.

Die Schädigungen der Augen durch andere Gifte. Außer den genannten gibt noch eine Reihe anderer Gifte zu ähnlichen Schädigungen des Sehnerven und Herabsetzungen des Sehvermögens Anlaß. Hierher gehören die Fisch-, Fleisch- und Pilzgifte (Austerngift, Wurstgift), die vor allem schwere Akkommodations- und andere Augenmuskellähmungen im Gefolge haben können. Ferner eine Anzahl sonst unentbehrlicher Heilmittel, die infolgedessen nur mit Vorsicht und unter ärztlicher Kontrolle angewandt werden dürfen. In erster Linie sind hier einige Wurmmittel zu nennen, vor allem das aus der Farnwurzel gewonnene Farnextrakt, bei dessen Anwendung als Bandwurmmittel es bei dazu veranlagten Personen neben sonstigen Vergiftungserscheinungen zu sehr schweren Sehstörungen, ja zu völligen ein- oder beiderseitigen Erblindungen kommen kann, auch wenn nur geringe, sonst harmlose Mengen genommen waren

Ein bei Kindern gegen Eingeweidewürmer allgemein gebräuchliches Heilmittel, das aus dem Zitwersamen gewonnene Santonin führt nicht selten zu der meist harmlosen Sehstörung des „Gelbsehens", bei der alle hellen Gegenstände in einem gelblichen Farbtone erscheinen. Weiter gehört hierher das in der Wechselfieberbekämpfung unentbehrlich gewordene Chinin. Nach unvorsichtigem Gebrauch dieses Mittels sieht man nicht selten infolge Schädigung des Sehnerven schwere, ja dauernde Sehstörungen eintreten, so daß, wie bei allen Heilmitteln, vor seinem Gebrauch ohne ärztliche Verordnung unbedingt zu warnen ist. Selbstverständlich gilt dasselbe für eine Reihe von besonders in der Augenheilkunde gebräuchlichen Heilmitteln, wie Atropin, Eserin u. a., die in ganz winzigen Gaben für das erkrankte Auge heilend, für das gesunde aber schädlich wirken. Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß durch Naphthalin- und Mutterkornvergiftungen grauer Star erzeugt werden kann und daß infolge Behandlung mit organischen Arsen präparaten (Atoxyl, Salvarsaneinspritzungen gegen Syphilis) gelegentlich Sehnervenentzündungen zustande kommen.

Unter den das Auge in Mitleidenschaft ziehenden Allgemeinvergiftungen gewerblicher Art spielen die durch chronische Einwirkung von Blei hervorgerufenen eine besonders wichtige Rolle. Durch die dauernde Einatmung von feinem Bleistaub oder ständigesVerschlucken kleiner Bleimengen kommt es in einer Reihe von Betrieben, z. B. bei Malern, Glasern, Töpfern, Farbenreibern, Bleiweißarbeitern, ferner bei Schriftsetzern, Blei- und Zinngießern neben allgemeinen Vergiftungserscheinungen (Bleilähmungen, Verdauungsstörungen, allgemeine Körperschwäche) nicht selten zu Sehnervenschwund mit langsam fortschreitender Herabsetzung des Sehvermögens bis zur vollständigen Erblindung, ähnlich wie bei der Tabak- und Alkoholvergiftung. Zur Vermeidung dieser mit Recht gefürchteten Bleivergiftungen ist zum persönlichen Schutz peinlichste Reinhaltung von Mund und Händen zu beobachten, während in den Arbeitsräumen neben größter Reinlichkeit für ständige und ausgiebige Lüftung zu sorgen ist, um eine möglichst vollkommene Entfernung der bleihaltigen Staubteilchen zu erreichen. Haben sich trotz alledem die ersten Anzeichen einer beginnenden Bleivergiftung eingestellt, so ist natürlich sofort die gänzliche Enthaltung von der Arbeit mit bleihaltigen Sub-

stanzen bis zum Verschwinden aller Erscheinungen und darüber hinaus notwendig.

Zu ähnlichen Störungen des Allgemeinzustandes, insbesondere des Nervensystems, mit Herabsetzung des Sehvermögens, Einengung des Gesichtsfeldes und Störungen des Farbenerkennungsvermögens führen chronische Vergiftungen mit Benzin, Anilin, vor allem aber mit Schwefelkohlenstoff, der in der Kautschukindustrie beim Vulkanisieren des Kautschuks zur Verwendung kommt und infolge seiner schon bei gewöhnlicher Temperatur erfolgenden Verdunstung leicht eingeatmet wird. Auch hier sind ähnliche Schutzmaßnahmen und gegebenenfalls sofortiges Aufhören mit der bisherigen Beschäftigung geboten.

Die Parasiten des Auges. Wie die meisten anderen Organe und Gewebe des Körpers, so kann auch das Auge gewisse tierische Schmarotzer beherbergen und durch sie geschädigt werden. Abgesehen von einer Reihe von Bakterien, deren Anwesenheit vornehmlich im Bindehautsack zu bestimmten Augenkrankheiten häufigen Anlaß gibt, können sich gelegentlich infolge des Genusses von finnenhaltigem Fleisch oder zufälligen Verschluckens von Bandwurmeiern Finnen, z. B. diejenigen des gemeinen Bandwurmes oder des Hundebandwurmes im Auge ansiedeln und weitgehende Zerstörungen hervorrufen. In gewissen tropischen Gegenden (Afrika) gelangen, wohl durch das Trinkwasser, Fadenwürmer unter die Bindehaut der Augen. Bei der Trichinenkrankheit kommt es, wie in allen willkürlichen Körpermuskeln, so auch in den Augenmuskeln zur Ansiedlung von Trichinen. An den Wimpern und Augenbrauen setzen sich gelegentlich Kopf- und Kleiderläuse fest und geben hier zu entzündlichen Vorgängen Anlaß. Fliegenarten legen, zumal bei Schwerkranken und schlecht Gepflegten, gelegentlich ihre Eier in die Haut- und Bindehautfalten ab. Stets wachsame Fürsorge für Reinlichkeit und geordnete Pflege, Trinkwasser- und Lebensmittelüberwachung dienen zur Verhütung und Bekämpfung aller dieser Parasiten.

Äußere Augenkrankheiten. Aus der großen Zahl der in den Bereich augenärztlicher Behandlung fallenden äußeren Augenkrankheiten

können hier nur diejenigen eine kurze Erwähnung finden, deren Kenntnis infolge ihrer Häufigkeit, ihrer Ansteckungsgefahr und wegen der Möglichkeit der Anwendung von Verhütungsmaßnahmen von allgemeiner gesundheitlicher und sozialer Bedeutung ist.

Die katarrhalischen Entzündungen der Augenbindehäute. Eine der häufigsten äußeren Augenkrankheiten ist der allgemein bekannte Augenbindehautkatarrh, die katarrhalische Entzündung der Bindehaut, die durch die verschiedensten Ursachen bedingt sein kann, am häufigsten aber durch direkte Ansteckung von Person zu Person oder durch Verunreinigung infolge des Eindringens von Staub, Fremdkörpern oder längeren Aufenthalts in schlechter Luft entsteht. Aber auch Brechungsfehler des Auges, Nasenkatarrhe, Tränensackerkrankungen u. a. können ihre Entstehung veranlassen. Schließlich ist die Entzündung der Bindehäute fast regelmäßig eine Begleiterscheinung schwerer innerer Augenerkrankungen, so daß es im gegebenen Falle ohne ärztlichen Rat nicht möglich ist, zu entscheiden, ob es sich um eine solche oder nur um einen an sich harmlosen Bindehautkatarrh handelt. Als wirksame Schutzmittel gegen die äußeren Schädigungen durch Wind und Wetter, Staub usw. sind die bereits erwähnten Schutzbrillen in Gestalt der Muschel- oder Autobrillen zu empfehlen.

Die Bindehauteiterung der Neugeborenen. Der Augentripper bei Kindern und Erwachsenen. Große Gefahren drohen dem Auge bereits in den ersten Tagen nach der Geburt. Die als „eitrige Augenentzündung der Neugeborenen“ bekannte Erkrankung hat noch bis vor wenigen Jahrzehnten, ehe man die Natur des Leidens, die Art seiner Übertragung sowie die Möglichkeit ihrer sicheren Verhütung erkannt hatte, die Erblindung und Zerstörung unzähliger kindlicher Augen verursacht. Wohl ein Drittel aller in unseren Blindenanstalten untergebrachten Blinden hat ihr Augenlicht infolge dieser verheerenden Augenerkrankung verloren. Das Leiden entsteht meistens während der Geburt infolge Ansteckung mit dem Eiter der an Harnröhrentripper leidenden Mutter, die oft genug selbst von dem Bestehen dieser ihrer Erkrankung nichts weiß, und kann nur durch sofort eingeleitete energische ärztliche Behandlung zur Heilung gebracht werden. Es

ist ein großes Verdienst der deutschen Wissenschaft, durch ein einfaches Verfahren — einmaliges Einträufeln je eines Tropfens einer 2prozentigen salpetersauren Silber-(Höllenstein-)lösung in jedes Auge gleich bei der Reinigung des eben geborenen Kindes — die Entstehung dieser höchst gefährlichen Augeneiterung mit so gut wie vollkommener Sicherheit zu verhüten gelehrt zu haben. Es ist durch diese segensreiche Schutzbehandlung, zu deren Vornahme jede Hebamme verpflichtet ist, gelungen, die Zahl dieser früher so häufigen Augenerkrankung auf ein Mindestmaß herabzudrücken. Trotzdem ist es nach wie vor Pflicht der öffentlichen Gesundheitspflege, für die Kenntnis dieser aus der Ansteckung mit Trippereiter erwachsenden Gefahren für das Auge zu sorgen, damit nicht nur die Hebamme, sondern auch die Eltern mit der Tragweite der Erkrankung bekanntgemacht werden und in unsicheren Fällen ärztliche Hilfe nicht erst zu spät aufgeboten wird. Natürlich kann die Eiterung auch später noch infolge ungenügender Reinlichkeit und Unvorsichtigkeit von der Mutter auf das Kind übertragen werden. Selbst beim Erwachsenen kann sie in jedem Lebensalter auftreten, wenn ein an eitrigem Harnröhrenausfluß (Tripper) Leidender durch Zufall, Unvorsichtigkeit oder Unreinlichkeit eine noch so winzige Menge des frischen Trippereiters in das Auge bringt. Die Gefahren für das Auge — eitrige Entzündung der Hornhaut und Durchbruch des Hornhautgeschwüres — sind beim Erwachsenen sogar noch größer, da bei ihm die Erkrankung viel schwerer als beim Kinde zu verlaufen pflegt. Es erwächst hieraus die selbstverständliche Mahnung für jeden Tripperkranken, die Übertragung des Eiters durch peinlichste Sauberkeit der Finger zu vermeiden und bei der geringsten, sich an den Augen einstellenden Störung sofort sachgemäßen Rat in Anspruch zu nehmen.

Die Ägyptische Augenentzündung (Körnerkrankheit, Trachom, Granulose). Eine ähnliche volksgesundheitliche Bedeutung kommt der als „Ägyptische Augenkrankheit“ wohlbekannten und ebenfalls höchst ansteckenden Bindehautentzündung zu, die in ihrem schleichenden chronischen Verlauf bei mangelnder Behandlung zu einer Entzündung und Schrumpfung des ganzen vorderen Augenabschnittes einschließlich der Augenlider mit hochgradiger Beein-

trächtigung, wenn nicht völligem Verlust des Sehvermögens führen kann. Glücklicherweise ist das T r a c h o m , dessen eigentliche Heimat, wie der Name sagt, Ägypten ist, in Deutschland nur in Ost- und Westpreußen stärker verbreitet. Es tritt vornehmlich unter der niederen, eng zusammenlebenden und weniger reinlichen Bevölkerung, aber auch in Kasernen, Gefängnissen und bei Schiffsbesatzungen auf. Infolge der außerordentlich großen Ansteckungsfähigkeit, die durch gemeinsamen Gebrauch von Waschwasser, Hand- und Schnupftüchern, Bettwäsche usw. vermittelt wird, und infolge ihres unmerklichen Beginns in der Form eines harmlosen Bindehautkatarrhs ist sie nur sehr schwer bekämpfbar, und um so mehr muß ihre Weiterverbreitung in bisher noch nicht trachomverseuchte Gegenden verhindert werden. In diesen selbst ist für allgemeinste Verbreitung der Kenntnis von den Gefahren der Erkrankung sowie der Art und Weise ihrer Übertragung und Verhütung Sorge zu tragen, wobei die peinlichste Beobachtung größter Reinlichkeit und die Vermeidung des gemeinsamen Gebrauchs von Wasch-, Bett- und Arbeitsgegenständen die wichtigste, allerdings auch am schwersten durchzuführende Maßnahme bildet. Da die Ansteckung durch unmittelbare Übertragung der Krankheitskeime mittels der schleimig-eitrigen Absonderung der trachomatös (auf Deutsch: „r a u h“) erkrankten Bindehaut auf die gesunde erfolgt, so kann man sich leicht vorstellen, daß alles, was ein Trachomkranker mit seinen unreinen Händen berührt, für den Gesunden eine Quelle der Ansteckung bilden kann. Es ist daher in allen Fällen die möglichst frühzeitige Absonderung der Trachomkranken aus ihrer gesunden Umgebung sowie eine gründliche Behandlung und Überwachung dringendstes Erfordernis für eine erfolgreiche Bekämpfung und Ausrottung der Krankheit. Hierfür ist u. a. die Einrichtung besonderer Trachomkrankenhäuser oder wenigstens eigener Trachomabteilungen in den trachomverseuchten Gegenden zu fordern; die Bevölkerung muß zur Sauberkeit von Person und Wohnung erzogen werden, für nicht zu enge und gut zu lüftende Wohnungsgelegenheiten ist zu sorgen. Regelmäßige ärztliche Kontrolle muß mit der pflichtmäßigen Krankmeldung an Behörden und Behandlungszwang einhergehen.

Eine kurze Erwähnung verdient noch eine besondere, im ganzen glücklicherweise recht seltene Erkrankung des kindlichen Auges, weil ihre frühzeitige Erkennung und Behandlung unter Umständen das

Leben des Kindes retten kann. Es handelt sich um eine vom Augeninnern ausgehende, rasch wuchernde Geschwulst (Gliom der Netzhaut), deren erstes und einziges Erkennungsmerkmal in einem aus der Pupille kommenden hellen gelblichen oder gelblichgrünen Schein, ähnlich dem im Dunkeln aufleuchtenden Katzenauge besteht. Nur eine schleunige operative Entfernung des so erkrankten Auges vermag das schnelle Weiterwachsen und Durchbrechen der bösartigen Geschwulst durch die Augenhöhle in die benachbarten Gehirnteile und damit den tödlichen Ausgang zu verhindern.

Die Augenerkrankungen in ihren Beziehungen zu Allgemeinleiden des Körpers. Bekanntlich besteht ein inniger Zusammenhang zwischen einer Reihe wichtiger Allgemeinleiden zu bestimmten Erkrankungen des Auges. Der Wichtigkeit und auch der Häufigkeit nach geordnet gehören hierher die syphilitischen, skrofulösen und damit verwandten tuberkulösen, die diphtherischen sowie die bei Masern und Pocken und Lepra (Aussatz) auftretenden Augenerkrankungen.

Das vielgestaltige Bild der Syphilis und der in ihrem Gefolge auftretenden Gehirn- und Rückenmarkskrankheiten kann in ihrem langwierigen Verlauf sämtliche Teile des Auges gefährden. Die syphilitischen Augenleiden haben neben ihrem außerordentlich chronischen Verlauf und ihrer großen Hartnäckigkeit insofern eine besondere volksgesundheitliche Bedeutung, als sie nicht nur im Gefolge der durch direkte Ansteckung von Person zu Person, zu allermeist bekanntlich auf dem Wege des Geschlechtsverkehrs erworbenen Syphilis auftreten, sondern auch durch Vererbung des syphilitischen Giftes von den Eltern auf die Kinder zustande kommen können. Es ist daher eine selbstverständliche Forderung, daß an vererbter ebenso wie an erworbener Syphilis erkrankte Personen erst nach völliger Beseitigung aller syphilitischen Erscheinungen die Ehe eingehen dürfen.

Die früher so häufigen Erblindungen infolge von Pockenerkrankung der Augen sind dank der segensreichen Wirkung der Schutzpockenimpfung in unseren Ländern so gut wie ausgestorben. Im Ausland begegnet man ihnen aber noch sehr häufig; sie kommen zustande durch Vereiterung von Pockenpusteln, die besonders gern Gesicht und Augen befallen. Auch Lepra (Aussatz), in Europa so gut wie unbekannt, sucht mit Vorliebe die Augen heim und verursacht

zahlreiche Erblindungen. Tuberkulose der Augen ist im Vergleich zu der sonstigen Häufigkeit dieser Erkrankung recht selten und befällt meist nur die Regenbogen- und Aderhaut. Zu Regenbogenhautentzündungen gibt auch der akute Gelenkrheumatismus und der Tripper nicht selten Anlaß. Die im innigen Zusammenhang mit der Tuberkulose stehende Skrofulose befällt vornehmlich Teile des äußeren Auges in Gestalt der so häufigen geschwürigen Lidrand-, Bindehaut- und Hornhautentzündungen. Lassen die Hornhautgeschwüre dichte und ausgedehnte Narben zurück, so können schwere Beeinträchtigungen des Sehvermögens eintreten. Daß alle die genannten Leiden stets sofortige sachgemäße Behandlung erfordern, ist selbstverständlich. Die allgemeine Gesundheitspflege erstrebt, wie bei Tripper und Syphilis, ihre Verhütung durch entsprechende Belehrung über die dem Auge drohenden Gefahren, bei Skrofulose und Tuberkulose durch allgemeine Förderung der jugendlichen Entwicklung, bestehend in kräftiger, leichtverdaulicher Nahrung (Milch, Eier, Lebertran), körperlichen Übungen, Aufenthalt in guter, freier Luft und gutgelüfteten, hellen Wohnungen, Gebrauch von Solbädern u. a. m.

Während die bei Masern vielfach auftretenden Bindehautkatarrhe harmloser Natur sind, können die glücklicherweise seltenen diphtherischen Bindehauterkrankungen durch Übergreifen auf die Hornhaut zu schweren, das Augenlicht gefährdenden Störungen Anlaß geben. Als Vorbeugungsmittel hat bekanntlich die rechtzeitige Einspritzung des Behringschen Heilserums günstige Erfolge. Nach Ablauf der Diphtherie kann es ebenso wie bei gewissen Vergiftungen (siehe S. 261) zu zeitweiser Behinderung des Nahesehens infolge Lähmung des Akkommodationsapparates kommen, die nach einiger Zeit wieder von selbst verschwindet.

Außer bei der Syphilis und der Kurzsichtigkeit spielt die Erblichkeit noch bei einigen anderen selteneren Augenleiden eine wichtige Rolle. Da diese letzteren vorzugsweise bei Personen beobachtet werden, die aus Verwandtenehen stammen, so ist auch vom augengesundheitlichen Standpunkte aus geboten, Verwandtenehen und Ehen hochgradig kurzsichtiger Personen zu verhindern.

Die bei allgemeiner Körperschwäche und Blutarmut im Entwicklungsalter und nach erschöpfenden Krankheiten beobachtete

Herabsetzung der körperlichen Leistungsfähigkeit kann sich natürlich auch in leichter Ermüdbarkeit der zarten Augenmuskeln und zwar in Gestalt von Beschwerden beim Nahesehen geltend machen. Diese Beschwerden verdienen ebenso sehr eine entsprechende ärztliche Berücksichtigung wie gewisse krankhafte Veränderungen an den Augen, die sich nicht selten im Gefolge einiger chronischer Stoffwechselerkrankungen, wie z. B. Nierenleiden, Zuckerharnruhr einstellen.

Als Ermüdungserscheinung tritt bei Bergleuten in Kohlengruben ein eigenartiges Zittern der Augen ein, wenn sie bei mangelhafter Beleuchtung in liegender Stellung mit zurückgebeugtem Kopfe dauernd nach oben blickend tätig sein müssen. Diese krampfartige Erkrankung der Augenmuskeln verschwindet erst bei völliger Aufgabe des Berufes.

Schließlich ist zu berücksichtigen, daß mancherlei Schädigungen des Auges von Erkrankungen der benachbarten Knochenhohlräume (Stirn-, Kiefer-, Keilbeinhöhleneiterungen) und Erkrankungen der Nase herrühren können. Natürlich kann ihre Heilung nur durch Beseitigung dieser Grundleiden erzielt werden.

Innere Augenleiden (grauer Star, grüner Star, schwarzer Star). Im Anschluß hieran seien noch einige innere Augenleiden erwähnt, über deren Wesen in weiten Volkskreisen noch immer unklare, wenn nicht falsche oder längst überholte Vorstellungen bestehen. Es handelt sich in der Hauptsache um zwei Erkrankungen, bei denen die Gefahr, in Blindheit überzugehen, durch rechtzeitiges ärztliches Eingreifen so gut wie regelmäßig abzuwenden ist. Zuerst ist hier der „graue Star" zu nennen, der durch eine im Alter auftretende und allmählich zunehmende Trübung der Linse gekennzeichnet ist, durch welche der Eintritt der Lichtstrahlen ins Auge verhindert und schließlich vollständige Blindheit hervorgerufen wird. Äußerlich macht sich diese Linsentrübung dadurch kenntlich, daß die sonst schwarze Pupille grau erscheint. Durch keines der viel empfohlenen innerlichen und äußerlichen Mittel ist das Fortschreiten der Trübung aufzuhalten. Nur durch die sogenannte Staroperation, die in einer Entfernung der getrübten Linse besteht, kann das Leiden gehoben und das sonst verlorene Sehvermögen mittels entsprechender Konvex-

gläser wiederhergestellt werden. Zu einer ähnlichen Linsentrübung, dem sogenannten Wundstar, kommt es, wenn infolge von Verletzungen die Linsenkapsel platzt oder ihr Aufhängeband reißt. Die bei Glasbläsern früher nicht selten beobachtete Starbildung wird auf die intensive Wirkung der ultraveilen Lichtstrahlen zurückgeführt und ist durch geeignete Schutzbrillen zu vermeiden.

Der grüne Star hat seinen Namen von einem leicht grünlichen Schimmer, den das daran erkrankte Auge in der Pupille erkennen läßt. Er besteht in einer Drucksteigerung des Auges mit sehr schmerzhaften, entzündlichen Vorgängen unter gleichzeitiger Herabsetzung des Sehvermögens und kann ebenfalls nur durch eine Operation beseitigt werden, während er sonst zur unheilbaren Erblindung führt.

Der Begriff des schwarzen Stars ist veraltet und rührt aus der Zeit vor der Erfindung des Augenspiegels her. Er umfaßte alle zur Erblindung führenden Erkrankungen des Augeninneren, deren Ursache früher ebenso unbekannt wie ihre Behandlung erfolglos war. Erst Helmholtz' Erfindung des Augenspiegels hat das über diesen Erkrankungen liegende Dunkel gelichtet und ihre zweckmäßige Behandlung ermöglicht.

Die Augenleiden in ihren Beziehungen zur Berufswahl. Eine besonders wichtige Rolle in der Frage der Gesundheitspflege des Auges spielt die Berücksichtigung des Zustandes der Augen für die Wahl des Lebensberufes. Mit vollem Recht wird immer dringlicher die Forderung erhoben, kurz vor der Entscheidung der Berufswahl eine allgemein ärztliche Untersuchung, am besten noch in der Schule durch die Schulärzte vornehmen zu lassen und dabei das Auge besonders zu berücksichtigen. Nur so kann eine sachgemäße Beratung bei dieser wichtigen Entscheidung gewährleistet und späteren Enttäuschungen vorgebeugt werden. Nach den bisherigen Ausführungen ist es ohne weiteres verständlich, daß für eine ganze Reihe wichtiger Berufe die volle und uneingeschränkte Leistungsfähigkeit der Augen eine unerläßliche Vorbedingung ist, und ferner, daß bestimmte krankhafte Zustände und Anlagen der Augen wenigstens die Wahl gewisser Berufsstände ausschließen. So wird man z. B. Personen mit leicht entzündlicher Bindehaut von solchen Berufen fernhalten müssen, die mit erheblicher Rauch-, Staub- und Gasentwicklung, mit greller Beleuchtung und mit

hohen Wärmegraden verbunden sind. Jegliche, die Augen stark in Anspruch nehmende Naharbeit wird man selbstverständlich allen mehr oder weniger Schwachsichtigen, aber auch solchen mit Brechungsfehlern mittleren und höheren Grades zu verbieten haben. Gegebenenfalls ist zu berücksichtigen, ob sich das Tragen einer Brille mit der fraglichen Tätigkeit verträgt und wie sich die Sehschärfe beider Augen zueinander verhält, z. B. wenn es sich um Berufe handelt, bei denen, wie beim Schießen, ein Auge besonders in Betracht kommt oder wenn die Möglichkeit der Schädigung eines einzig verbliebenen Auges vorliegt.

Bei einer ganzen Reihe von Berufen hat es sich aus diesen Gründen, vielfach sogar im Interesse der öffentlichen Sicherheit, als notwendig erwiesen, ganz bestimmte Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Augen zu stellen, deren Nichterfüllung die Zulassung zu ihnen ausschließt. Solche Vorschriften stehen bei den Truppen des Heeres und der Marine, bei den Beamten und Angestellten der Eisenbahn, der Seeschiffahrt, der Forstverwaltung in Geltung. Zu Berufen, die ein regelrechtes Farbenerkennungs- und Unterscheidungsvermögen erfordern, dürfen farbenblinde und farbenschwache Personen nicht zugelassen werden. Sie sind daher, auch bei sonst normaler Sehleistung, vor allem untauglich für den Seefahrt- und Eisenbahndienst, wo es auf das sofortige richtige Erkennen bunter Licht-, Flaggen- und Scheibensignale usw. ankommt.

Notwendigkeit einer sachgemäßen Behandlung der Augenleiden. Es ist bereits mehrfach im Laufe unserer Darstellung darauf hingewiesen worden, daß eine ganze Anzahl von Augenleiden entweder zu vollkommener Heilung oder wenigstens zu wesentlicher Besserung und zum Stillstand gebracht werden können, wenn sie unverzüglich sachgemäßer ärztlicher Behandlung unterworfen werden. Es ist daher im Interesse des Schutzes, den ein so wichtiges Organ, wie es das Auge ist, zu beanspruchen hat, geboten, immer wieder auf die dringende Notwendigkeit hinzuweisen, sich aller unzweckmäßiger oder gar schädlicher Eingriffe und Prozeduren zu enthalten und auch schon bei anscheinend harmlosen Störungen ärztliche Hilfe in Anspruch zu nehmen. Weder der Patient selbst noch seine Umgebung ist imstande, zu beurteilen, ob es sich im gegebenen Falle um eine leichte und ohne weiteres Zutun vorübergehende Störung oder, wie so oft, um den Be-

ginn eines ernsteren, mehr oder weniger schnell fortschreitenden Prozesses handelt, der ohne Dazwischenkunft sachgemäßer Behandlung zu schweren und nicht wieder gutzumachenden Störungen führt. So pflegt eine ganze Reihe recht häufig vorkommender Erkrankungen des Auges in ihrem Beginne als harmlose Bindehautreizung zu erscheinen und infolgedessen vernachlässigt zu werden. Selbst eine nicht zu hohe Herabsetzung des Sehvermögens bleibt gar nicht selten längere Zeit hindurch unbeachtet, zumal wenn sie einseitig auftritt und nur allmählich zunimmt. Eine Reihe der folgenschwersten Augenleiden beginnt in dieser Weise und zeitigt im Anfang ganz unbedeutende Beschwerden. Sind diese aber erst hochgradig geworden, so ist es vielfach zu einer wirksamen Behandlung zu spät, während bei rechtzeitiger Erkennung nicht nur ihr Fortschreiten verhindert, sondern sogar ihre völlige Heilung hätte erzielt werden können.

Warnung vor unsachgemäßer Hilfe bei Augenleiden. Noch folgenschwerer als die Unterlassung der Inanspruchnahme ärztlicher Hilfe ist die Unsitte, sich dem Rate unsachverständiger Personen anzuvertrauen oder gar sich der Anwendung kurpfuscherischer Maßnahmen zu unterziehen, die gerade für Augenleiden so vielfach angepriesen werden, kaum aber einem anderen Organ des Körpers so gefährlich werden können als eben dem Auge. Der hierdurch angerichtete Schaden ist stets ein doppelter; einmal wirken diese zum Teil lächerlichen, zum Teil ekelerregenden Maßnahmen in so gut wie allen Fällen direkt schädlich, und zweitens verhindern sie die rechtzeitige Einholung eines wirklich sachverständigen Rates. Das gilt auch für anscheinend harmlose Ratschläge, wie z. B. Augenbäder und -waschungen, Einträufelungen, Umschläge, Verbände, sogenannte Dunkelkuren, vor allem für die vielfach gebräuchlichen, das Auge direkt gefährdenden Bleiwasserumschläge. Es ist deshalb eine der wichtigsten Aufgaben der öffentlichen Gesundheitspflege, immer wieder durch geeignete Belehrungen in Schulen, gewerblichen Betrieben, Fabriken usw. auf die hierdurch dem Auge drohenden Gefahren hinzuweisen und vor der Inanspruchnahme jedes unsachgemäßen Rates eindringlich zu warnen.

„Schonung" und „Überanstrengung" gesunder Augen. Im Zusammenhang hiermit noch ein Wort über die im Volke so häufig ge-

hörte Mahnung der „Schonung" der Augen, die zu vielen Mißverständnissen Anlaß gibt. Der Begriff der Schonung setzt denjenigen der „Überanstrengung" der Leistungsfähigkeit des Auges voraus. Diese Überanstrengung des Auges beim Sehen in die Ferne, also ohne Inanspruchnahme der Akkommodation und unter sonst normalen Verhältnissen, könnte höchstens zu einer Ermüdung der Netzhaut und des Sehzentrums, d. h. zu einer solchen des Gehirns führen und damit die Erholung des ganzen Körpers verlangen. Selbstverständlich ist der Eintritt der Ermüdung nicht unabhängig von den jeweilig vom Auge verlangten Leistungen, und es ist nicht gleichgültig, ob das Auge fortwährend auf ruhende oder auf bewegte Gegenstände gerichtet wird, ob es sich nach eigenem Belieben betätigt, oder ob es dabei unter gewissem dauernden Fixierzwange steht wie bei den ununterbrochenen Kinematographenbildern. Unter gewöhnlichen Verhältnissen aber kann von einer Schädigung des Auges durch andauernden Gebrauch beim Fernsehen nicht die Rede sein.

Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Nahesehen. Regelrechter Brechungszustand der Augen vorausgesetzt, ist der Akkommodationsmuskel großen Anforderungen gewachsen, so daß das gesunde Auge stundenlanges Lesen, Schreiben, Handarbeiten vertragen kann, ohne dadurch irgendwie geschädigt zu werden. Das normale, gesunde Auge bedarf also keiner anderen Schonung, z. B. durch Enthaltung von der Nahearbeit, als der Erholung des ruhebedürftigen Körpers überhaupt, vorausgesetzt natürlich, daß die für eine vernünftige Gesundheitspflege des Auges als zweckmäßig erkannten Arbeitsbedingungen erfolgt und innegehalten werden.

Machen sich nun im Anschluß an längerdauernde Naharbeiten bei sonst gesunden Personen Kopfschmerzen in der Gegend der Augen oder Schmerzen in den Augen selbst geltend, oder werden direkte Klagen über mangelhafte Leistungsfähigkeit der Augen laut, so kann man ohne weiteres auf eine beginnende oder bereits bestehende Störung der normalen Funktion des Sehorgans schließen, zu deren Behebung lediglich eine Schonung der Augen keineswegs ausreichen würde. Hier kommt vielmehr einzig und allein die sofortige Einholung sachverständigen ärztlichen Rates in Frage.

Ebensowenig wie einer Schonung, bedarf das unter zweckmäßigen Bedingungen arbeitende gesunde Auge sogenannter Stärkungs-

mittel, wie man sie so häufig im Volke in Gestalt von Augenbädern, Augenwässern und Umschlägen empfehlen hört. Liegen wirkliche oder vermeintliche Beschwerden vor, so nützt nichts anderes als sachverständige Beratung, am allerwenigsten aber Schonung im landläufigen Sinne oder gar die Anwendung all der unzähligen Augenstärkungsmittel. Dabei bietet eine Augenuntersuchung noch den Vorteil, etwaige Störungen im übrigen Organismus, z. B. Erkrankungen des Gefäß- oder Nervensystems aufzudecken. (Über den Wert des Brilletragens s. S. 257.)

Schlußbetrachtung. Vergegenwärtigen wir uns zum Schlusse in einem kurzen Rückblick noch einmal all die mannigfaltigen Gefahren, welche die Leistungsfähigkeit des Auges infolge seiner oberflächlichen Lage von außen und durch seine vielfachen Beziehungen zu Allgemeinleiden von innen her bedrohen und bedenken wir, daß das Auge vermöge seiner weitreichenden Beziehungen zur Außenwelt von allen Sinnesorganen am wertvollsten, sein Verlust seelisch am unerträglichsten und wirtschaftlich am schwerwiegendsten ist, so werden wir keinen Augenblick mit der Anerkennung der Notwendigkeit zögern, den in gesundheitlicher Beziehung zum Schutze und zur Pflege des Sehorgans als zweckmäßig erkannten Maßnahmen volle Geltung zu verschaffen und die Belehrung über die ihm zuträglichsten Bedingungen in weiteste Kreise zu tragen. Die Fortschritte, die wir in der Erkenntnis und Verbreitung der maßgebenden Grundsätze dank der unausgesetzten in dieser Richtung tätigen Bestrebungen erreicht haben, berechtigen zu der Hoffnung, auf diesem Wege weiterhin erfolgreich fortzuschreiten und die wissenschaftlichen Errungenschaften den praktischen Zwecken der Pflege und Erhaltung des Sehorgans in steigendem Maße dienstbar zu machen, um so einen immer größeren Teil der Menschheit vor dem Verluste dieser kostbaren Gabe des Augenlichtes zu bewahren.

Die bereits im Jahre 1920 von uns als bevorstehend angekündigte Zeitschrift

Die Farbe

Sammelschrift für alle Zweige der Farbkunde

Unter Mitwirkung zahlreicher Mitarbeiter herausgegeben von

Wilhelm Ostwald

hat im März 1921 zu erscheinen begonnen. Wir nennen sie jedoch nicht Zeitschrift, sondern „Sammelschrift", weil Herausgeber und Verleger bewußt darauf ausgegangen sind, die mannigfachen Nachteile zu vermeiden, welche der bisherigen Form wissenschaftlicher Zeitschriften anhaften.

Worin jene Nachteile bestehen und wodurch „Die Farbe" sie beseitigen will, ist in der 1. Abhandlung des neuen Unternehmens von dem Herrn Herausgeber ausführlich dargelegt worden. Diese Abhandlung ist für „Die Farbe" programmatisch, und es darf deshalb durchweg auf sie verwiesen werden, zumal sie jedem Interessenten unberechnet zur Verfügung gestellt wird.

In ungefähren Abständen von 3 Monaten erscheint eine Mappe mit Abhandlungen im Umfang von 5 bis 7 Bogen.

Auf „Die Farbe" kann wie auf jede andere Zeitschrift abonniert werden. Das Abonnement verpflichtet für das ganze laufende Kalenderjahr, also für den vollen Jahrgang. Die Subskription kann sich erstrecken auf alle Abhandlungen, die innerhalb dieses Zeitraums erscheinen. Oder sie kann sich auf nur eine oder mehrere der (mit römischen Ziffern bezeichneten) Abteilungen beziehen, die den Teilungen des Stoffgebietes entsprechen und rechts unten am Kopf jeder Abhandlung angegeben sind. Eine Voraussage, wie viele Abhandlungen in jeder einzelnen Abteilung zur Veröffentlichung gelangen, kann nicht abgegeben werden.

Das hervorstechendste Merkmal der neuen Sammelschrift aber besteht darin, daß auch jede Abhandlung einzeln erhältlich ist.

Kein Abonnementsbetrag wird für irgendeinen Zeitraum voraus erhoben. Vielmehr bezahlt der Empfänger (auf Grund des Bogenpreises) stets nur, was er wirklich erhalten hat, ohne dennoch der Vorteile des Abonnements verlustig zu gehen.

Wir laden zur Subskription sowie auch zum Einzelbezug ergebenst ein. Probenummer, Subskriptionsbedingungen, sowie Liste der bisher erschienenen Abhandlungen senden wir auf Wunsch unberechnet.

Verlag Unesma G.m.b.H.

Leipzig, Kantstraße 17.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 112078156